

UNIVERSITÉ PAUL-SABATIER

118, ROUTE DE NARBONNE — TOULOUSE

U. E. R. D'ODONTOLOGIE

ANNÉE 1974

N° 25

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DE LA COULÉE DE PRÉCISION

THÈSE

**POUR LE DOCTORAT DE TROISIÈME CYCLE
DE SCIENCES ODONTOLOGIQUES**

présentée et soutenue publiquement le 12 avril 1974

par

Jean VERGÉ

Chirurgien-dentiste

Licencié et docteur en médecine dentaire de l'Université de Genève

Assistant à l'U. E. R. d'odontologie de Toulouse

Ex-assistant à l'Institut dentaire de Genève

MEMBRES DU JURY	{	M. COLLETTE	} <i>Président</i>	
		M. SOULET		
		M. JONJOT		} <i>Assesseurs</i>
		M. LUBESPÈRE		

IMPRIMERIE M. ESPIC

13, rue Gonzalez — Toulouse

1974



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546614_0018

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE
DE LA COULÉE DE PRÉCISION

UNIVERSITÉ PAUL-SABATIER

118, ROUTE DE NARBONNE — TOULOUSE

U. E. R. D'ODONTOLOGIE

ANNÉE 1974

N° 25

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DE LA COULÉE DE PRÉCISION

THÈSE

**POUR LE DOCTORAT DE TROISIÈME CYCLE
DE SCIENCES ODONTOLOGIQUES**

présentée et soutenue publiquement le 12 avril 1974

par

Jean VERGÉ

Chirurgien-dentiste

Licencié et docteur en médecine dentaire de l'Université de Genève

Assistant à l'U. E. R. d'odontologie de Toulouse

Ex-assistant à l'Institut dentaire de Genève

MEMBRES DU JURY	{	M. COLLETTE	{	<i>Président</i>
		M. SOULET		<i>Assesseurs</i>
		M. JONJOT		
		M. LUBESPÈRE		

IMPRIMERIE M. ESPIC

13, rue Gonzalez — Toulouse

1974

UNIVERSITÉ PAUL-SABATIER
TOULOUSE

Président : M. LARENG
Premier Vice-Président : M. MATHIS
Secrétaire Général : M. PRINEAU

UNITÉ D'ENSEIGNEMENT ET DE RECHERCHE
D'ODONTOLOGIE

Directeur : M. SOULET

Professeurs du 1^{er} grade :

MM. BOUYSSOU
LAGARRIGUE

MM. MERLE-BERAL, Professeur honoraire
SOULET

Professeurs du 2^e grade :

MM. CHANCHUS
CLAUZADE
JONJOT
LUBESPERE
RIGAL

MM. RIVES
RODITTI
ROQUES P.
VIVENT

Assistants :

M^{me} ARDICHEN
MM. AUTHER
BENQUE
CHAVOIN
COULOMB
DAUDIBERTIERES
ETZOL

MM. LODTER
MANAS
MAURETTE
NAVES
QUERITET
REYNES
VERGE

Secrétaire : M. MARCHISET, *Attaché d'Administration Universitaire.*

L'Université Paul-Sabatier déclare n'être pas responsable des opinions émises par les candidats (Délibération en date du 12 mai 1891).

Mis à jour au 15 novembre 1972.



A MA FEMME

A MA MÈRE



A NOTRE PRÉSIDENT DE THÈSE :

MONSIEUR LE PROFESSEUR G. COLLETTE

Professeur de Physico-Chimie des Matériaux à l'Université Paul-Sabatier.

Votre grande compétence nous a permis
de mener à bien cette thèse.

Votre bienveillance à notre égard a été
un soutien précieux pour cette recherche.

Vous avez bien voulu présider cette thèse;
nous vous prions d'accepter le témoignage
de notre gratitude.

A NOS JUGES :

MONSIEUR LE PROFESSEUR H. SOULET

*Docteur en Médecine,
Chirurgien-Dentiste,
Directeur de l'U.E.R. d'Odontologie de Toulouse,
Docteur en Sciences Odontologiques,
Ex-assistant des Hôpitaux.*

Vous nous avez accueilli avec une grande bienveillance à l'U.E.R. d'Odontologie de Toulouse et dans votre Service.

Vous avez bien voulu superviser cette thèse. Nous vous prions de trouver ici le témoignage de notre profonde et respectueuse reconnaissance.

MONSIEUR LE PROFESSEUR B. JONIOT

*Professeur à l'U.E.R. d'Odontologie de Toulouse,
Docteur en Médecine,
Chirurgien-Dentiste,
Docteur en Sciences Odontologiques,
Ex-Chef de Clinique Odonto-Stomatologique à la Faculté de Médecine de Toulouse.*

Vous nous avez fait l'honneur d'accepter de siéger à notre jury de thèse.

Vous nous avez accordé votre confiance. Trouvez ici l'expression de nos vifs remerciements.

MONSIEUR LE PROFESSEUR A. LUBESPERE

*Chirurgien-Dentiste,
Professeur à l'U.E.R. d'Odontologie de Toulouse,
Sous-Directeur de l'U.E.R. d'Odontologie de Toulouse,
Docteur en Sciences Odontologiques.*

Nous sommes heureux de votre présence au jury de notre thèse.

Votre amitié et vos conseils nous ont toujours soutenu. Soyez-en vivement remercié.

PLAN GÉNÉRAL

INTRODUCTION.

CHAPITRE I.

HISTORIQUE : CIRES ET RÉSINES.

CHAPITRE II.

A. EXPÉRIENCES PERSONNELLES SUR LA CONTRACTION DES CIRES.

1. Protocole expérimental.
2. Température ambiante.
3. Technique d'insertion des cires.
4. Résultats.
5. Influence de la mise au réfrigérateur.
6. Influence de brèves variations de température sur les dimensions de la cire.
7. Influence de l'isolant.
8. Dureté des cires.
9. Conclusions de nos expériences sur la contraction des cires.

B. EXPÉRIENCES SPÉCIALES SUR CERTAINES RÉSINES.

1. Expérimentation avec moule en cire.
2. Expérimentation avec moule en duralumin.
3. Tensions internes de la résine.
4. Conclusions de nos expériences sur les résines.

CHAPITRE III.

LES REVÊTEMENTS.

1. Composition des revêtements compensateurs courants.
2. Qualités des revêtements.
3. Méthodes utilisées pour obtenir l'expansion des revêtements.
4. Choix du revêtement et mode d'utilisation.
5. Description de la technique de mise en revêtement sous vide par la méthode d'Hollenback.

CHAPITRE IV.

EXPÉRIENCES PERSONNELLES SUR LES COULÉES.

1. Mise en revêtement.
2. Chauffage du cylindre.
3. Alliages utilisés.
4. Mesures des coulées par rapport au témoin.
5. Calcul de la contraction des alliages et discussion des résultats.

CONCLUSION.

BIBLIOGRAPHIE.

INTRODUCTION

Le problème de la coulée de précision est pour l'Art dentaire moderne d'un intérêt primordial puisque les incrustations en or sont de plus en plus utilisées comme méthode d'obturation et les reconstitutions fixes comme méthode prothétique.

La technique de la coulée à la cire perdue donne d'excellents résultats et les progrès réalisés en moins de soixante ans dans ce domaine, soit par la mise au point de cires et de résines dentaires aux propriétés améliorées, soit par l'utilisation de revêtements de plus en plus appropriés aux alliages d'or, sont innombrables. Certains pensent que l'on peut parler aujourd'hui de méthode idéale. Pourtant, nous avons remarqué que de nombreuses imperfections subsistent encore quant à la régularité des résultats ou à la qualité des coulées, et c'est ce qui nous a engagé à apporter notre contribution à l'étude de ce sujet si important.

Le principe, à la base de toutes les méthodes de coulée, est l'exacte compensation par l'expansion du revêtement des contractions de la cire durant sa manipulation et de l'alliage d'or durant sa solidification et son refroidissement.

Les cires et les résines sont utilisées pour les empreintes directes en bouche tant pour les inlays, inlays corps ou inlays à tenons dentinaires que pour la confection au laboratoire de couronnes coulées, couronnes à incrustation vestibulaire ou encore de transferts ou coiffes de report.

La méthode directe évite au maximum les phases intermédiaires de la méthode dite indirecte où les risques d'erreur s'additionnent. Malgré tout et pour toute coulée, trois facteurs au minimum interviennent :

- 1. Les cires ou les résines autopolymérisantes;*
- 2. Les revêtements;*
- 3. Les alliages d'or.*

Nous avons donc étudié, dans ce travail :

— La contraction des cires dentaires courantes et la détermination de celles qui donnent les meilleurs résultats.

— Le comportement des résines autopolymérisantes utilisées de plus en plus dans l'Art dentaire.

— L'étude d'une mise en revêtement simple et correcte, basée sur la connaissance de l'expansion du matériau.

— Le choix d'un alliage d'or dont le coefficient d'expansion permette, en connaissant les autres facteurs, d'obtenir une coulée de dimensions parfaitement semblables à celles du modèle.

CHAPITRE I

Historique (cires et résines)

« La technique de la coulée à cire perdue permet d'obtenir une pièce de n'importe quelle forme par injection, sous pression ou par force centrifuge, du métal en fusion, dans un moule dont le creux résulte de l'élimination par combustion d'une maquette de cire » (SAUER, 1952) [82]. TAGGART, le premier, en 1907, introduisit cette méthode dans l'art dentaire. LANE, en 1908 déjà, essaya de compenser la contraction de l'or par une dilatation thermique préalable du moule à couler.

COY et VAN HORN (1910) tentèrent d'utiliser l'expansion thermique de la cire en chauffant prudemment les maquettes avant leur mise en revêtement. Mais le coefficient d'expansion de la cire est très élevé et le chauffage même modéré du modèle provoque des distorsions; ce procédé est aujourd'hui abandonné.

En 1911, PRICE recherche la valeur de la contraction des alliages d'or, mais c'est seulement en 1928 que COLEMAN essaie d'obtenir un équilibre entre l'expansion thermique linéaire du revêtement et les valeurs de la contraction linéaire des alliages. SCHEU, en 1932, met au point une technique qui utilise l'expansion hygroscopique du revêtement. Les recherches se multiplient et de nombreux auteurs étudient les différents facteurs qui interviennent au cours de la coulée.

Certains concentrent leurs travaux sur le problème de la cire et cherchent la meilleure technique pour son ramollissement et son insertion dans la cavité.

C'est ainsi que LASATER (1940) [9] établit que les cires fondues, puis pressées dans le modèle, ne se contractent pas plus et même parfois moins que les cires uniquement pressées. D'après ce chercheur, la contraction maximum de la cire interviendrait aux environs de 40°C.

Pour la ramollir, il recommande avec DRESSEL (1930) d'employer l'eau chaude plutôt que la flamme du bec de Bunsen dont l'action est trop superficielle.

Cependant, plusieurs auteurs, soit avant, soit après les travaux de LASATER, trouvent que la cire pressée présente les plus faibles contractions. C'est ainsi que SCHEU, cité par LASATER, signale que le ramollissement de la cire doit être fait à la température la plus basse possible et que la cire pressée dans la cavité présente des contractions inférieures à celles qui surviennent lorsque la cire a été complètement liquéfiée et coulée (0,4 % au lieu de 0,8 %).

GUSTAFSSON (1955) [4], reprenant l'idée émise par SCHEU, pense que dans une cire pressée les tensions se répartissent mieux que dans une cire liquide; il ajoute qu'il faudrait refroidir le moule à 15° ou 17°C avant de sortir la cire du modèle.

FUSAYAMA (1959) [3], obtient les résultats suivants :

— par la pression : de 0,17 % à 0,24 % de contraction (selon les marques de cire);

— lorsque la cire est coulée puis pressée : de 0,44 % à 0,49 %;

— lorsque la cire liquide est appliquée sans pression : de 0,60 % à 0,91 %, SMYD (1948) [21] démontre que les cires sont sensibles à la température de la pièce dans laquelle elles sont travaillées : leur maniement devient plus difficile pendant l'hiver, car le modèle absorbe une partie de la chaleur de la cire et la dégage ensuite. D'après ce chercheur, la plupart des contractions de la cire pourraient être supprimées si le modèle était chauffé à une température relativement élevée (40°C à 55°C); il utilise à cette fin une lampe à infra-rouge placée à 45 cm environ. Le « die » absorbe ainsi la chaleur et la conduit vers la cire.

La température de ramollissement dépend de la dureté des cires. Les adeptes de la cire indirecte devraient, d'après HEDEGARD et SKINNER (1959) [5], utiliser les cires molles; par contre, les partisans de la méthode directe devraient, selon RYGE (1963) [18], choisir la cire dure, afin d'éviter sa déformation lorsqu'on la retire de la cavité.

La spécification n° 4 de l'American dental Association donne un ordre de grandeur pour la contraction des cires à couler variant entre 0,4 % et 0,5 %.

MOORE (1952) [12] trouve pour la cire Ransom et Randolph une contraction de 0,58 % (cette cire avait été chauffée à 84°C et pressée, puis modèle et cire placés dans l'eau à 35°C pendant 5 mn).

D'après FUSAYAMA (1959) [3]), la cire de Kerr bleue pressée aurait une contraction de 0,27 %, mais pour d'autres cires contenant davantage de paraffine la contraction ne serait que de 0,01 %.

Un travail de OHASHI et PAFFENBARGER [16] (Bureau des Standards, Washington) indique pour la cire de Kerr bleue un point de ramollissement situé entre 58,1°C et 63,6°C.

Le « flow » de cette cire (ce qui correspond à peu près à un calcul de dureté), mesuré entre 25°C et 45°C, varierait de 0,1 à 78,2 μ .

Il n'est pas toujours possible de procéder à la mise en revêtement de la cire aussitôt après sa sortie du modèle; il est donc important de connaître les changements intervenant dans cet intervalle de temps. Pour PHILLIPS (1950) [17] et

beaucoup d'autres auteurs, après 45 mn, plus le temps augmente, plus grande est la déformation. Si l'on doit conserver une cire, on doit le faire à basse température. A temps égal, elle se déformerait moins à 11°C au réfrigérateur qu'à la température de la pièce. Selon ce même auteur, il faudrait 8 mn à la cire sortie du réfrigérateur pour qu'elle reprenne la température de la pièce.

La plupart des déformations interviennent pendant les 2 ou 3 premières heures de « stockage »; elles seraient même parfois évidentes après 30 mn. TEDDS (1959) (26) signale que la contraction de la cire est faible après 1 heure, mais augmente énormément au bout de 24 heures et que cette contraction peut se poursuivre pendant 48 heures.

Comme on le voit par cette revue d'un certain nombre de travaux, les résultats ne sont pas toujours parfaitement concordants et ces divergences justifient et imposent même de nouvelles recherches.

Les résines autopolymérisantes introduites depuis quelques années dans l'art dentaire ont une facilité de manipulation évidente; quelques recherches ont été entreprises mais les résultats semblent là aussi assez différents avec cependant des chiffres de contraction avancés souvent importants. Une étude précise semblait pour la résine également justifiée.

Les résines autopolymérisantes ou autopolymérisables ou encore résines à froid, se présentent dans le commerce sous forme de dérivés acryliques contenant un stabilisateur (hydroquinone) et un catalyseur (aminés), et d'un polymère solide, réduit en poudre fine contenant un catalyseur (peroxydes). Parfois le catalyseur ne peut être incorporé préalablement à la poudre et n'est adjoint qu'au moment du mélange liquide-poudre.

D'après JUGE [7] et de nombreux auteurs dont BUGUGNANI et LEPERS, au cours de leur polymérisation, ces produits subissent une rétraction.

Ainsi LEPERS [10] parle-t-il, de 0,25 % de contraction pour la résine DURALAY, l'ORIL donnant de meilleurs résultats. BUGUGNANI [2] avance 0,20 % pour la PALAVIT-G, 0,30 % et au-dessus, pour la NEOPAR et l'ORIL.

L'instabilité de volume ou « retrait de polymérisation » est aussi signalée par SKINNER et PHILLIPS [53], qui donnent un chiffre de retrait linéaire de la base en acrylique d'environ 2 % pendant sa fabrication. En fait, ajoutent-ils cependant, le retrécissement linéaire de durcissement observé est très inférieur à 2 %, car d'après eux le retrait observé pourrait être thermique et non dû à la polymérisation.

CHAPITRE II

A. - Expériences personnelles sur la contraction des cires

1) PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL.

Nous avons utilisé pour nos expériences un bloc d'acier, dans lequel, par la méthode de l'électro-érosion (ou étincelage) (*) nous avons fait usiner une cavité à forme parallélépipédique de :

8 mm de long, 5 mm de large et 3 mm de haut.

Ces dimensions ont été choisies pour tenter de se rapprocher au maximum de celles d'une incrustation coronaire.

Ce modèle très précis, exécuté au μ près, très légèrement de dépouille, nous permet de « sortir » facilement les cires grâce à un poussoir (fig. I A et I B). Celles-ci sont alors mesurées à l'aide d'un micromètre comparateur permettant une lecture à 2 μ près. Le 0 du micromètre correspond aux dimensions exactes de l'étalon et les variations de l'aiguille nous donnent la valeur de la contraction de la cire (fig. 2).

(*) Le mécanisme de l'électro-érosion consiste à faire jaillir entre l'électrode-outil et la pièce à usiner une succession de décharges électriques très brèves (d'un millième à un millionième de seconde) à travers un liquide qui a des propriétés isolantes (de l'huile par exemple). Ces décharges se succèdent à une cadence rapide en différents points, de manière à balayer très vite la surface traitée. Le phénomène de l'électro-érosion, très complexe, est resté incompris, pendant de longues années. D'après la dernière théorie qui tente de l'expliquer, l'enlèvement de la matière surviendrait par un effet thermique.

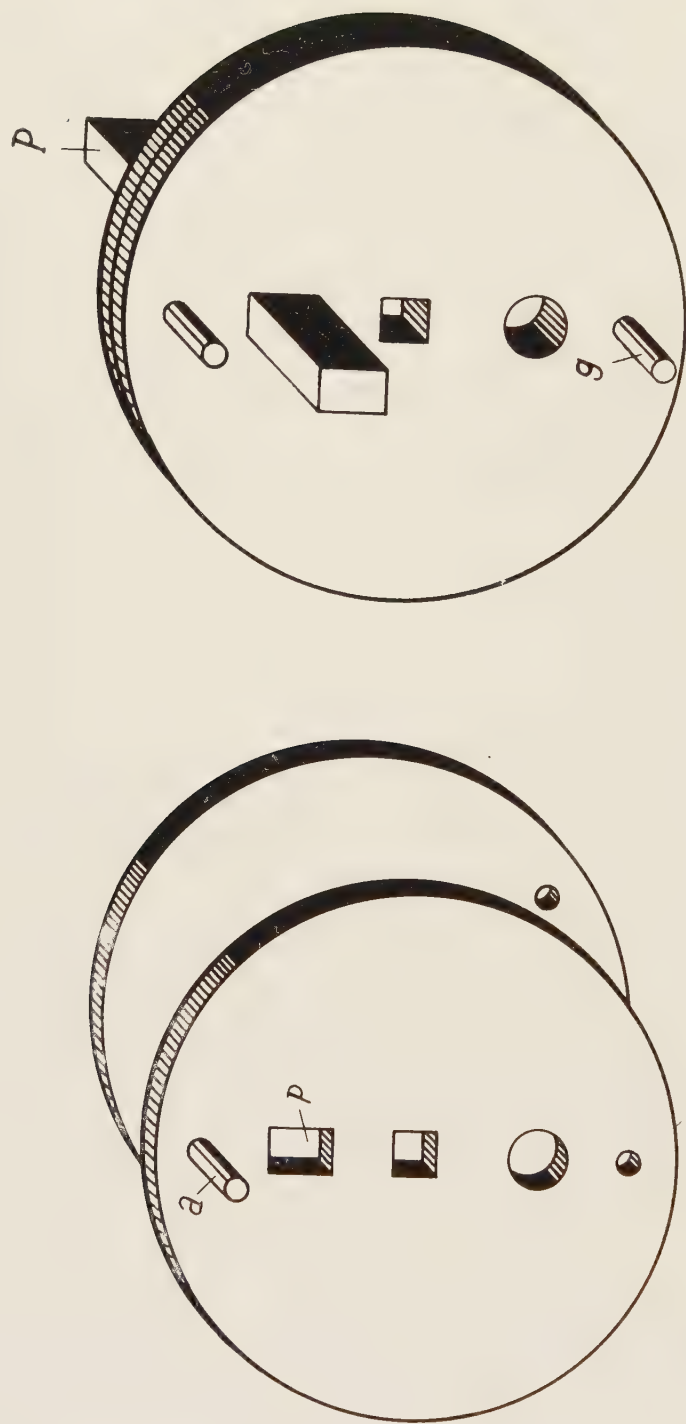


Figure 1. Appareil utilisé pour les cires.

A. Deux plaques d'acier avec différentes cavités usinées par étincelage sont assemblées par l'axe (a) en évitant de superposer les cavités. La seconde plaque forme ainsi le fond des cavités de la première. La forme parallélépipédique (p) a été utilisée pour nos recherches.

B. La cire ayant été coulée puis pressée dans la cavité, on fait glisser la seconde plaque d'acier pour qu'elle se superpose exactement à la première. Cette position est fixée par la goupille (g). On peut alors, grâce au poussoir (P) sortir aisément la cire de la cavité.

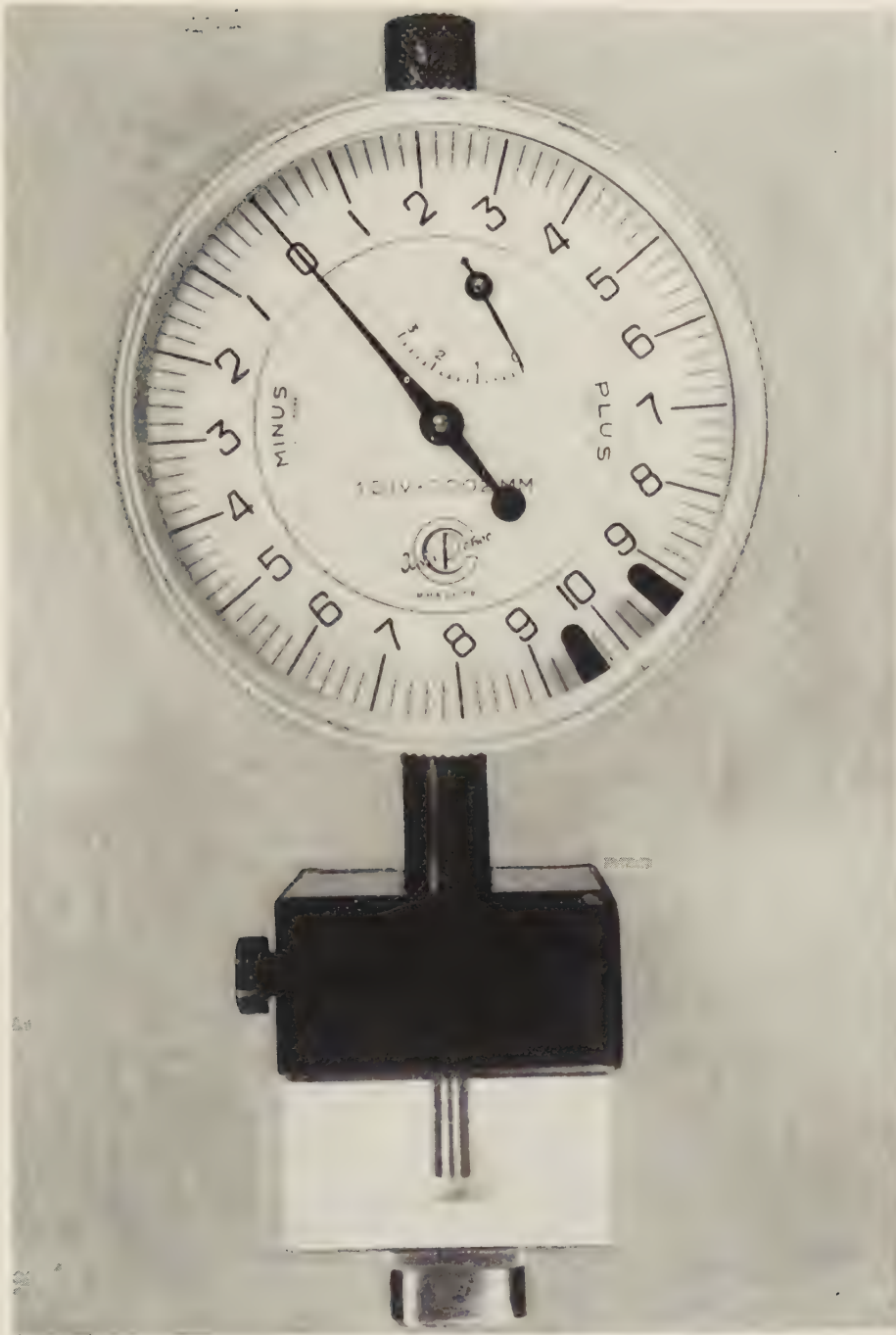


Figure 2. Le micromètre comparateur utilisé.

Pour éviter toute déformation de la cire par la pression du palpeur du comparateur, nous avons retiré le ressort de l'appareil; le palpeur ainsi détendu exerce une pression de 1,6 à 2 g/mm² créée uniquement par les spirales. Une cale est, en outre, placée entre la cire et le palpeur pour obtenir une meilleure répartition des forces (fig. 3).

2) TEMPÉRATURE AMBIANTE.

La température ambiante de la pièce dans laquelle les cires sont exécutées joue un rôle important dans leur contraction.

Comme le signalait déjà SMYD, il est nécessaire de travailler dans une pièce tempérée; toutes nos expériences furent donc réalisées dans un local à température constante, entre 23° et 24°C.

3) TECHNIQUE D'INSERTION DES CIRES.

Nous avons mentionné au chapitre I que la plupart des auteurs recommandent de ramollir les cires à la température la plus basse possible; la méthode de la cire pressée semblerait donc préférable à la technique de la cire coulée et pressée. Malgré ces affirmations et après quelques expériences infructueuses, nous avons abandonné ce procédé qui ne nous a pas donné satisfaction; les parois des cires étaient, en effet, peu nettes, granuleuses, et aucune mesure correcte ne pouvait être faite sur ces surfaces rugueuses; par contre, nous n'avons pas rencontré ces inconvénients en coulant la cire dans le moule avant de la presser et nous avons systématiquement utilisé cette méthode qui nous a permis d'obtenir des cires d'une excellente qualité de surface. Nous fondons la cire au bec Bunsen, puis la coulons dans le modèle avant de l'y comprimer alors qu'elle est encore molle.

Pour ces recherches, nous avons utilisé les marques de cires suivantes :

Cinq marques américaines :

Kerr bleue, S.S. White bleue, Security verte, Ransom et Randolph jaune,
Cire du Dr. Peck violette.

Deux marques suisses :

Belladi d'hiver bleue, Blaues inlay wachs.

Une marque anglaise :

Stellon jaune.

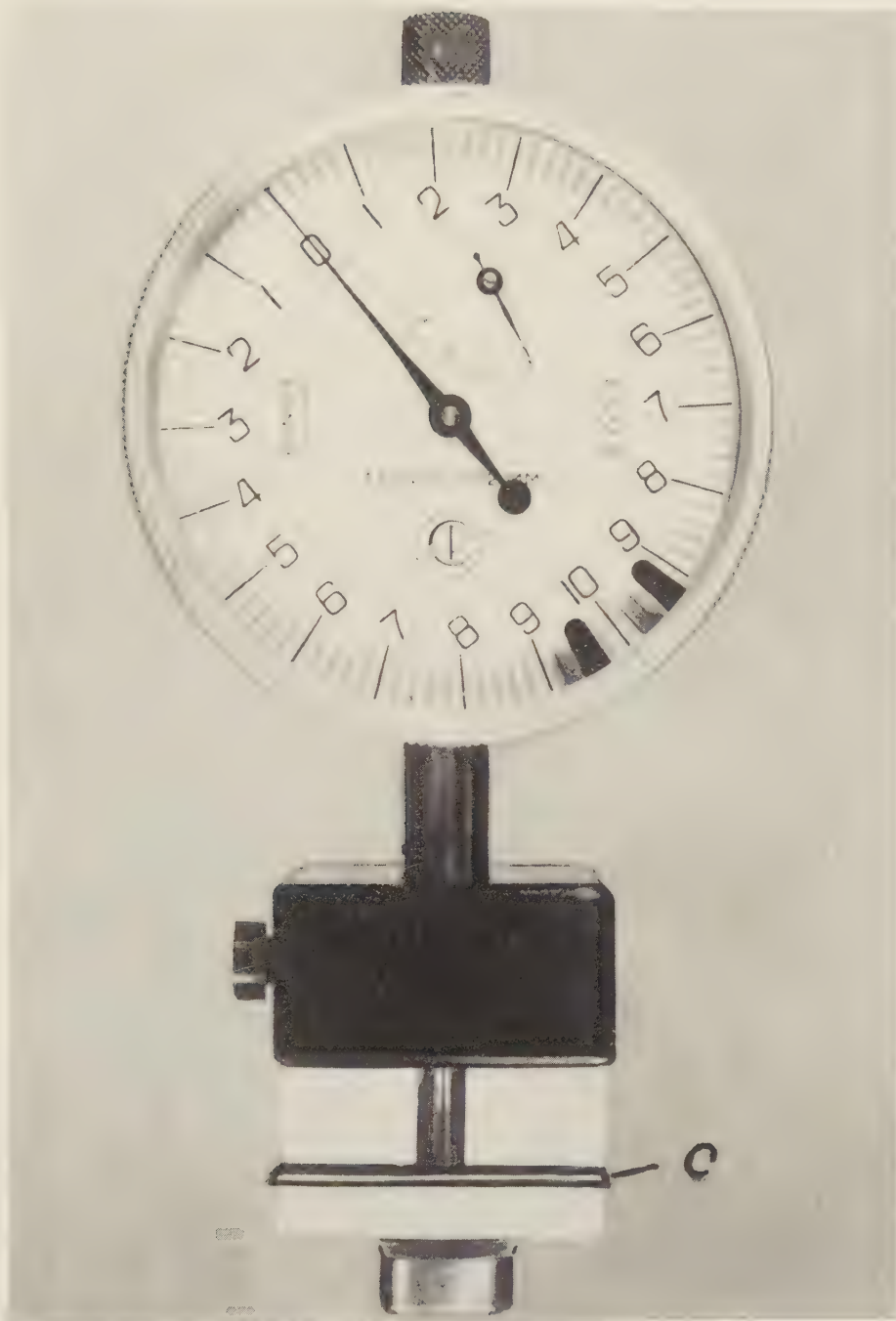


Figure 3. Le micromètre comparateur utilisé avec cale (c).

Une marque allemande :

Prépon noire.

Une marque française :

Maja bleue.

4) RÉSULTATS.

Voici nos résultats concernant ces 10 cires auxquelles nous avons ajouté le Duralay, résine méthacrylique à modèle qui permet d'obtenir des résultats comparatifs intéressants.

Les mesures furent faites sur la longueur et la largeur des cires, successivement un quart d'heure, 1 heure et 24 heures après leur sortie du modèle (le laps de temps d'un quart d'heure étant celui qui nous intéresse le plus). Pour chaque marque, 14 échantillons furent mesurés (10 échantillons seulement pour le Duralay), leurs moyennes établies et le pourcentage calculé. Les chiffres suivants furent enregistrés : Mesures faites sur la longueur :

Contraction après 1/4 h		Après 24 h
Belladi (v. détail tableau I)	— 0,023 %	— 0,077 %
Stellon (v. détail tableau II)	— 0,16 %	— 0,27 %
Blaues inlay wachs	— 0,34 %	— 0,43 %
Ransom et Randolph	— 0,35 %	— 0,49 %
Kerr	— 0,36 %	— 0,48 %
Prépon	— 0,38 %	— 0,50 %
Maja	— 0,40 %	— 0,48 %
S.S. White	— 0,45 %	— 0,56 %
Cire du Dr. Peck	— 0,49 %	— 0,66 %
Sécurité	— 0,75 %	— 0,87 %

Expansion après 1/4 h	Après 24 h.
Duralay (v. tableau III) :	+ 0,13 % — 0,05 %

TABLEAU I

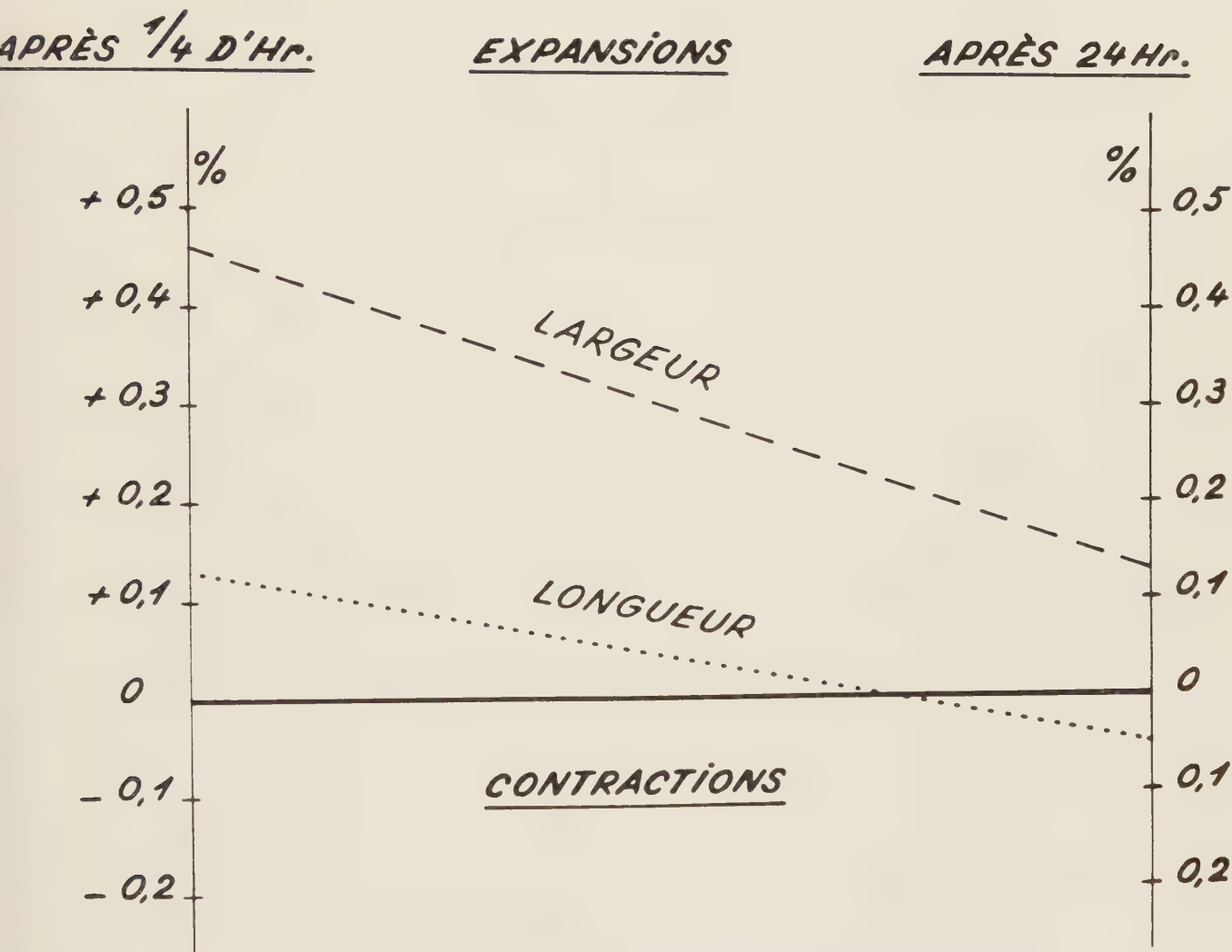
BELLADI d'hiver	1) Après 15 minutes		2) Après 1 heure		3) Après 24 heures	
	<i>Longueur</i> (L ₁)	<i>Largeur</i> (l ₁)	<i>Longueur</i> (L ₂)	<i>Largeur</i> (l ₂)	<i>Longueur</i> (L ₃)	<i>Largeur</i> (l ₃)
	Contractions	Expansions	Contractions	Expansions	Contractions	Expansions
14 Cires						
N° 1	— 2 μ	+ 12 μ	— 2 μ	+ 10 μ	— 2 μ	+ 10 μ
2	— 2	+ 14	— 2	+ 14	— 2	+ 12
3	— 2	+ 14	— 4	+ 12	— 4	+ 10
4	0	+ 12	0	+ 12	— 4	+ 10
5	— 2	+ 10	— 4	+ 10	— 8	+ 8
6	— 4	+ 10	— 4	+ 8	— 10	+ 8
7	— 6	+ 2	— 6	0	— 6	0
8	0	+ 12	0	+ 10	— 8	+ 10
9	0	+ 10	— 2	+ 8	— 8	+ 6
10	— 2	+ 12	— 4	+ 10	— 6	+ 8
11	— 2	+ 6	— 6	+ 2	— 8	0
12	0	+ 12	— 2	+ 8	— 6	+ 6
13	— 2	+ 6	— 4	+ 4	— 8	+ 2
14	— 2	+ 8	— 4	+ 4	— 8	+ 4
Moyennes :	— 1,9 μ = L ₁	+ 10 μ = l ₁	— 3,1 μ = L ₂	+ 8 μ = l ₂	— 6,2 μ = L ₃	+ 6,7 μ = l ₃
	Contraction L ₁	= — 0,023 %	Contraction L ₂	= — 0,038 %	Contraction L ₃	= — 0,077 %
	Expansion l ₁	= + 0,20 %	Expansion l ₂	= + 0,16 %	Expansion l ₃	= + 0,13 %

TABLEAU II

STELLON	1) Après 15 minutes		2) Après 1 heure		3) Après 24 heures	
	Longueur (L ₁)	Largeur (l ₁)	Longueur (L ₂)	Largeur (l ₂)	Longueur (L ₃)	Largeur (l ₃)
14 cires	Contractions		Contractions		Contractions	
N° 1	— 16 μ	— 4 μ	— 16 μ	— 4 μ	— 22 μ	— 6 μ
2	— 12	— 4	— 12	— 4	— 16	— 6
3	— 10	0	— 12	0	— 16	— 2
4	— 14	— 4	— 16	— 6	— 22	— 8
5	— 10	— 2	— 12	— 2	— 20	— 4
6	— 16	0	— 18	— 10	— 26	— 16
7	— 12	— 6	— 14	— 6	— 20	— 10
8	— 18	0	— 20	0	— 26	— 4
9	— 14	— 4	— 16	— 4	— 24	— 10
10	— 12	0	— 12	— 2	— 18	— 4
11	— 10	0	— 12	0	— 18	— 2
12	— 16	— 4	— 20	— 8	— 28	— 12
13	— 14	— 4	— 18	— 6	— 26	— 10
14	— 10	0	— 16	— 2	— 22	— 4
Moyennes :	— 13 μ = L ₁	— 2,3 μ = l ₁	— 15,2 μ = L ₂	— 3,8 μ = l ₂	— 21,7 μ = L ₃	— 7 μ = l ₃
	Contraction L ₁	= — 0,16 %	Contraction L ₂	= — 0,19 %	Contraction L ₃	= — 0,27 %
	Contraction l ₁	= — 0,046 %	Contraction l ₂	= — 0,076 %	Contraction l ₃	= — 0,14 %

TABLEAU III

MESURES DE LA RÉSINE DURALAY



Sur la largeur les différences sont sensiblement les mêmes, avec des chiffres proportionnellement plus faibles. La Security a, comme sur la longueur, les plus fortes contractions : — 0,67 % et — 0,80 %. La Belladi, avec laquelle on enregistre la contraction la plus faible sur la longueur, présente même sur la largeur, une valeur révélant une expansion de + 0,20 % après un quart d'heure et de + 0,13 % après 24 heures d'attente. Le Duralay présente également une expansion surtout sur la largeur (+ 0,46 %) qui diminue après 24 heures (+ 0,13 %).

Les autres cires ont une contraction qui se situe entre les deux extrêmes : Security et Belladi. Les mesures de contraction effectuées après 1 heure sont en moyenne générale augmentées de $2,94 \mu$ seulement (0,037 %) sur la longueur et $2,07 \mu$ (0,041 %) sur la largeur.

Les cires les meilleures, d'après nos recherches, c'est-à-dire dont la contraction est la moindre, semblent être la Stellan et la Belladi (tableaux IV et V). En vue d'une lecture plus claire nous avons adopté pour les tableaux IV et V une progression arithmétique décroissante sur l'axe des ordonnées.

Les ordonnées diminuent symétriquement :

- pour le tableau IV de — 0,3 % jusqu'aux valeurs positives et de — 0,4 % jusqu'à l'infini ($-\infty$);
- pour le tableau V de — 0,2 % jusqu'aux valeurs positives et de — 0,3 % jusqu'à l'infini ($-\infty$).

5) INFLUENCE DE LA MISE AU RÉFRIGÉRATEUR.

Il est clair que le meilleur moyen d'éviter les déformations de la cire est de la mettre le plus rapidement possible en revêtement. Si cette condition ne peut être remplie, la mise au réfrigérateur lui conserve ses propriétés, mais demande quelques précautions.

Afin d'étudier le comportement des cires soumises à cette conservation, nous avons également fait une série de mensurations dans les conditions suivantes :

a) Mesures faites à l'intérieur du réfrigérateur.

Ces expériences sont réalisées pour étudier l'influence des basses températures sur la contraction des cires.

Nous coulons, puis pressons la cire dans le modèle, nous la laissons refroidir un quart d'heure, puis la sortons du modèle et la mesurons. Nous plaçons ensuite cette cire dans le réfrigérateur à 4°C pendant un quart d'heure, puis nous mesurons la longueur de la cire à l'intérieur même du réfrigérateur. Il résulte de cette

TABLEAU IV

MESURES DES CÎRES SUR LA LONGUEUR

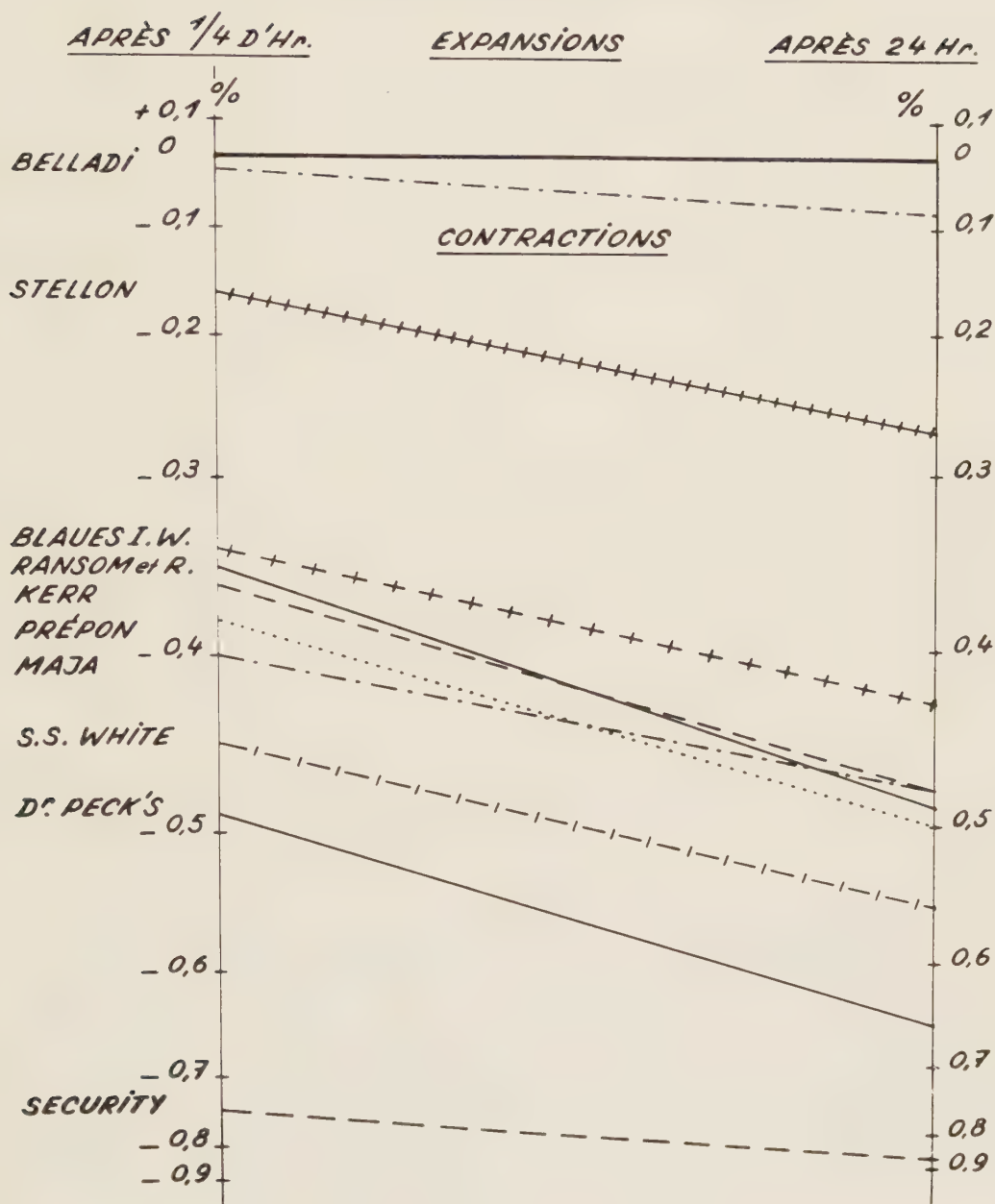
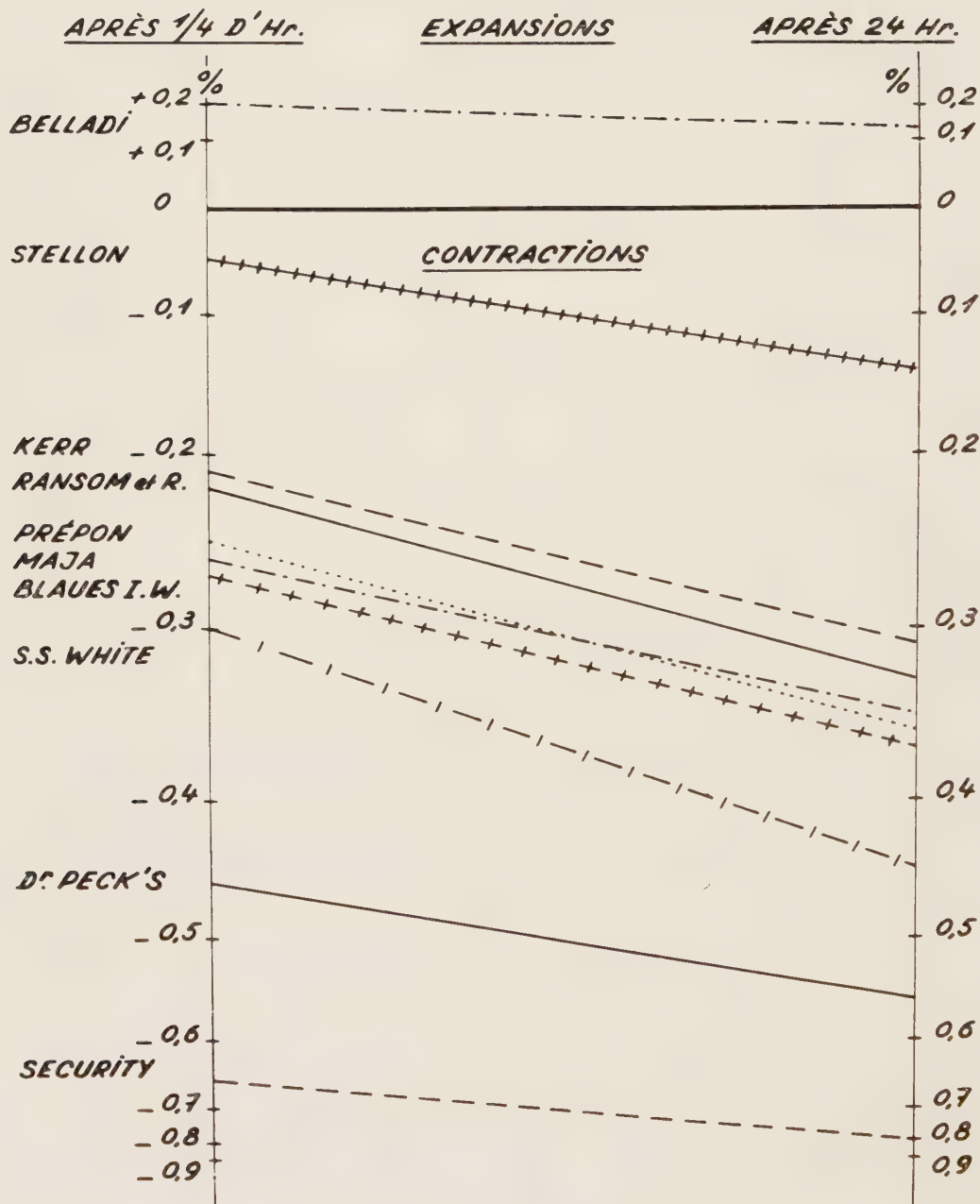


TABLEAU V

MESURES DES CÎRES SUR LA LARGEUR

expérience que la contraction moyenne des cires a presque doublé. Nous pouvons signaler également que la cire ne reprend la longueur qu'elle avait avant son passage au réfrigérateur qu'au bout d'une demi-heure environ.

b) Cires laissées pendant 18 heures au réfrigérateur.

Nous mesurons les cires, que l'on a laissé durcir pendant un quart d'heure, à leur sortie du modèle et les plaçons au réfrigérateur pendant 18 heures toujours à 4°C. Le choix de ces 18 heures correspond à peu près, dans la pratique, à l'intervalle de temps écoulé entre le modelage tardif d'une cire et sa mise en revêtement le lendemain matin.

Le problème est donc de savoir au bout de combien de temps après sa sortie du réfrigérateur, on retrouve les contractions obtenues à la sortie du modèle. Nous avons enregistré les résultats suivants :

Sur les 10 marques de cires utilisées :

- 2 ont retrouvé leur contraction initiale au bout de 3 heures,
- 6 au bout de 2 heures,
- 2 au bout de 1 heure.

Ces mesures ont été faites sur la longueur de la cire. Nous avons refait les mêmes expériences sur la largeur et avons trouvé sensiblement les mêmes résultats :

- 5 cires ont retrouvé leur dimension au bout de 2 heures,
- 4 au bout de 1 h 30,
- 1 au bout de 1 heure.

Nous pouvons donc conclure, qu'en moyenne, après un séjour prolongé au réfrigérateur, il faut attendre 2 heures avant que la cire qui en a été sortie reprenne son taux de contraction initial avant la mise au réfrigérateur.

6) INFLUENCES DE BRÈVES VARIATIONS DE TEMPÉRATURE SUR LES DIMENSIONS DE LA CIRE.

Dans la pratique, il arrive que la cire subisse des variations brusques de température, par exemple, au cours de son transport du cabinet du praticien au laboratoire du technicien. L'hiver, ce problème a son importance si l'on compare la température d'un cabinet chauffé à celle de l'extérieur.

Pour essayer de se replacer dans des conditions à peu près identiques aux conditions de travail clinique, nous avons mis les cires, après mensurations, pendant un quart d'heure au réfrigérateur à 3°C puis nous les avons laissées un quart d'heure à 23°C, replacées au réfrigérateur un quart d'heure et enfin sorties définitivement et mesurées un quart d'heure après.

A la suite de ces expériences, on peut conclure que ces brèves variations de température n'ont aucune influence sur les dimensions finales de la cire; en effet, alors que la contraction moyenne de toutes nos cires mesurées sur la longueur est de $30,5 \mu$ (c'est-à-dire 0,38 % de contraction) dans les conditions normales de température, elle est de $31,2 \mu$, c'est-à-dire 0,39 % de contraction, après passages répétés mais brefs au réfrigérateur.

7) INFLUENCE DE L'ISOLANT.

Pour toutes les expériences décrites ci-dessus les cires ont été réalisées sans enduire le modèle d'isolant, car sa forme très légèrement de dépouille ne nécessitait pas son emploi. Etant donné l'utilisation habituelle d'un isolant dans la pratique, nous avons voulu contrôler son influence sur la précision des cires. Pour cela nous avons effectué une petite série de mesures sur la longueur des cires réalisées en présence de deux isolants : le Microfilm de Kerr et le Bucol de Matthey, et nous avons constaté, comme il fallait s'y attendre, que plus la couche de film est épaisse, plus la différence dans la dimension des cires est grande. Ainsi, sur 5 cires, nous avons trouvé 56μ de contraction (c'est-à-dire 0,70 %) alors que sans isolant la contraction moyenne est de 26μ (c'est-à-dire 0,32 %) (v. tableau VI). Donc, l'utilisation d'un isolant doit être faite avec une grande discrétion, car l'épaisseur du film ainsi créé influence les dimensions de la cire.

8) DURETÉ DES CIRES.

Les cires molles sont conseillées pour la méthode indirecte (HEDEGARD et SKINNER). Pour nos recherches nous avons utilisé les 10 marques de cires déjà citées et avons cherché à établir leurs duretés comparatives. Sur le micromètre comparateur, nous avons, à cet effet, adapté un palpeur tronconique dont le degré d'enfoncement dans la cire nous a donné des résultats comparatifs. Le ressort ayant été remplacé sur le micromètre, la pression exercée sur les échantillons est de 40 g/mm^2 (v. figure 4). Les résultats suivants furent enregistrés après lecture du degré d'enfoncement de la pointe tronconique dans chaque échantillon de cire (v. tableau VII).

La Prépon noire (Allemagne) donne un chiffre indiquant la plus faible pénétration du palpeur (50μ de moyenne), la Maja bleue (France) la pénétration la plus élevée (116μ).

Les autres cires se situent entre ces deux valeurs.

TABEAU VI

Marques des cires	Contraction des Cires avec isolants (après 15 mn.)		Contraction moyenne	Contraction moyenne sans isolant (V. % tableau IV)	Augmentation de la contraction due à l'isolant (différence)
	Microfilm	Bucol			
KERR (bleue)	— 52	— 84	— 64 μ	— 29 μ	— 35 μ
	— 62	— 66			
	— 60	— 70			
	— 58				
BELLADI d'hiver (bleue)	— 14	— 22	— 19 μ	— 2 μ	— 17 μ
	— 28	— 14			
	— 20	— 16			
	— 18				
STELLON (jaune)	— 54	— 50	— 48 μ	— 13 μ	— 35 μ
	— 54	— 40			
	— 54	— 46			
	— 40				
SECURITY (verte)	— 84	— 94	— 85 μ	— 60 μ	— 25 μ
	— 70	— 90			
	— 74	— 100			
	— 80				
BLAUES I.W. (bleue)	— 54	— 58	— 67 μ	— 27 μ	— 40 μ
	— 76	— 62			
	— 74	— 72			
	— 72				
MOYENNES GENERALES :			— 56 μ	— 26 μ	— 30 μ

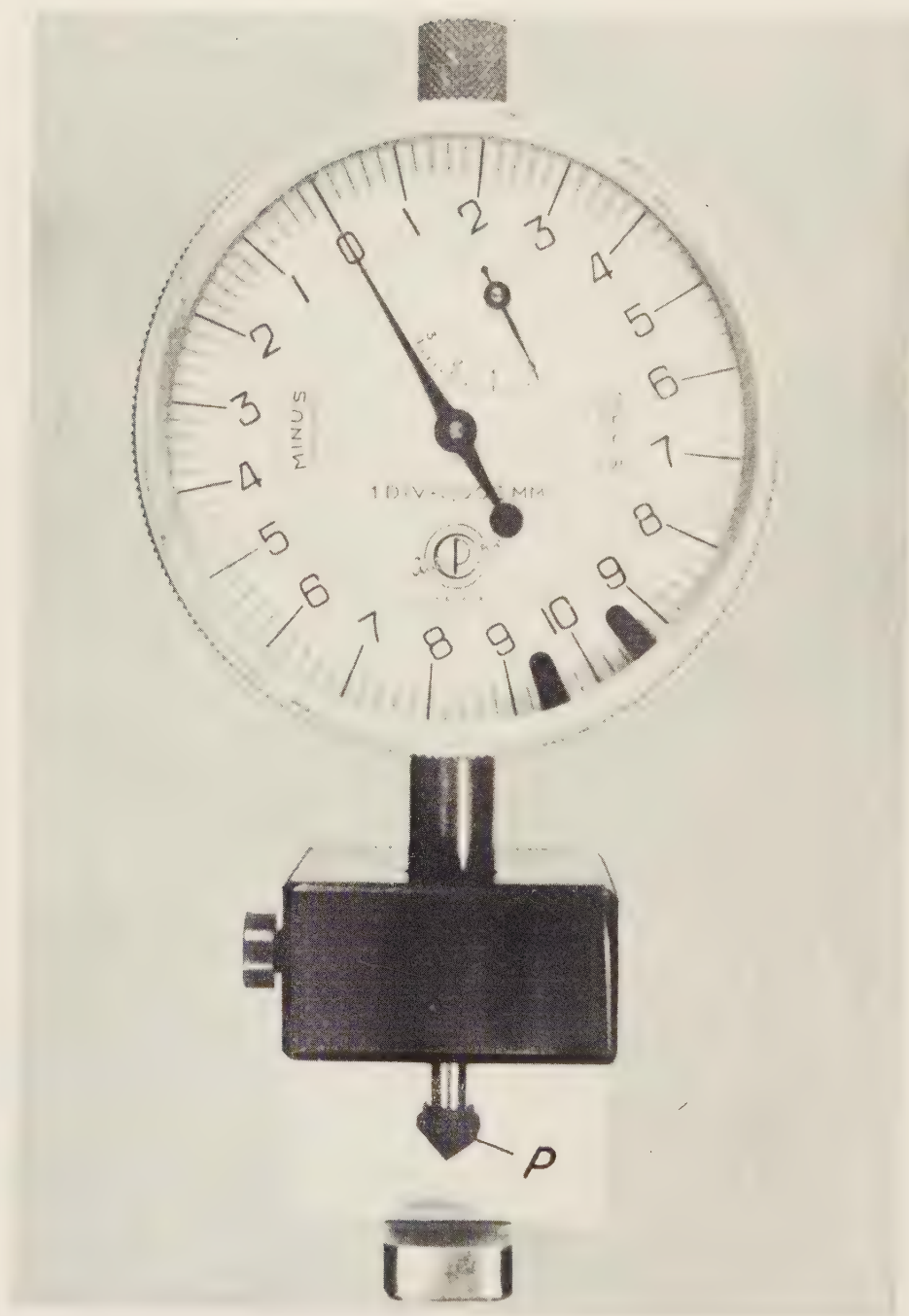


Figure 4. Le micromètre comparateur utilisé avec palpeur tronconique (p).

TABLEAU VII

Marques des cires	Indications fournies par le fabricant	Mesure de l'enfoncement du palpeur dans les cires 48 h après leur sortie du modèle (en μ)	Moyennes comparatives (en μ)
PREPON (noire)	Dure	54, 48, 52, 54, 46	50 (Cire la plus dure)
S.S. WHITE (bleue)	Moyenne	52, 50, 58, 56, 56	54
KERR (bleue)	Moyenne	58, 56, 54, 54, 60	56
RANSOM et R. (jaune)	Dure	58, 58, 56, 52, 64	57
BELLADI d'hiver (bleue)	Sans indications	56, 64, 62, 72, 68	66
Dr. PECK'S (violettes)	Dure	70, 62, 68, 76, 74	70
STELLON (jaune)	Sans indications	78, 74, 78, 82, 78	78
SECURITY (verte)	Sans indications	90, 88, 84, 78, 82	84
BLAUES I.W. (bleue)	Sans indications	88, 90, 94, 86, 90	89
MAJA (bleue)	Sans indications	116, 112, 120, 122, 110	116 (Cire la plus molle)

9) CONCLUSIONS DE NOS EXPÉRIENCES SUR LA CONTRACTION DES CIRES.

En résumé, ces expériences nous montrent que la cire est plus fidèle et conserve ses propriétés, si les conditions suivantes sont réalisées :

- température de la pièce constante, tempérée,
- chauffe uniforme de la cire,
- cire coulée sans surchauffe et pressée,
- mince couche d'isolant,
- mise en revêtement dans les 45 mn qui suivent la sortie du modèle,
- sinon mise au réfrigérateur à basse température et mise en revêtement de la cire, 2 heures après l'en avoir sorti, si elle y a séjourné toute une nuit, par exemple.

B. - Expériences spéciales sur certaines résines

1. EXPÉRIMENTATION AVEC MOULE EN CIRE

a) *Protocole expérimental.*

L'utilisation de plus en plus classique de la résine autopolymérisante, en PROTHÈSE CONJOINTE notamment, nous a amené à développer une étude spéciale sur deux résines connues : la DURALAY et la RESINLAY. Ce sont deux matériaux d'empreinte directe ou de confection de transferts ou de couronnes coulées en laboratoire.

L'inconvénient principal de ces résines vient, du point de vue expérimental, de la difficulté survenant lors de leur « extraction » du moule dans lequel on les coule. Ceci est d'ailleurs différent en bouche, car la méthode directe permet de sortir aisément l'empreinte de la cavité. La lubrification de celle-ci facilite évidemment cette opération, mais l'utilisation d'un isolant, comme nous l'avons précisé précédemment, est une source d'erreurs.

C'est pour cette raison que nous avons utilisé en premier lieu la cire d'abeille comme moule; celle-ci a, en effet, l'avantage de ne pas adhérer à la résine. Le moule est préparé à l'aide d'un trépan creux monté sur une perceuse tournant à vitesse

lente. La résine est coulée liquide dans le moule après mélange monomère-polymère. Après durcissement et découpage de la cire à l'aide d'une lame de rasoir, le cylindre de résine est extrait facilement.

Les dimensions du modèle obtenu sont les suivantes (voir fig. V) :

Hauteur du cylindre : 10 mm, diamètre extérieur : 10 mm, diamètre intérieur : 8 mm.

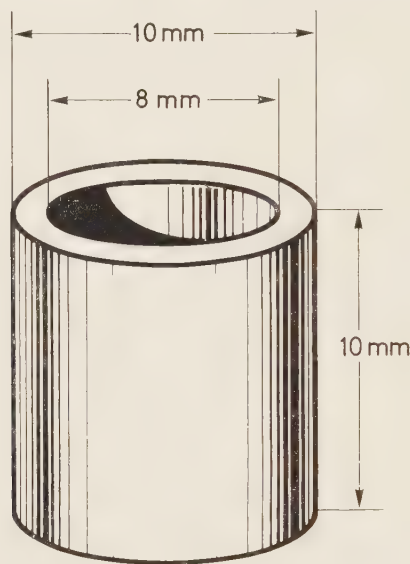


Fig. V

b) Instrumentation des mesures :

Les expériences précédentes exécutées sur le parallélépipède et mesurées grâce au micromètre comparateur, avaient montré une expansion dans le sens de la largeur, surtout dans les premières heures après la sortie du moule (tableau III) avec la résine DURALAY.

Le chiffre de 0,46 % semblait donc indiquer une valeur qu'une mesure au 5/100^e mm aurait facilement décelé étant donnée la taille de l'éprouvette.

Un microscope Reichert muni d'un illuminateur par réflexion permet une lecture aisée grâce à la platine micrométrique et au vernier.

La pièce cylindrique en résine est examinée après avoir tracé deux repères diamétralement opposés en forme de croix avec une lame de rasoir.

Ces mesures sont évidemment effectuées sur la résine durcie à sa sortie du moule et non en cours de durcissement.

c) *Résultats des mesures.*

Les résultats obtenus à la suite de mesures faites sur 4 échantillons (2 de DURALAY, 2 de RESINLAY), 15 minutes, 30 minutes, 1 heure, 2 heures, 24 heures et 48 heures après leur sortie du moule n'ont montré aucune variation décelable, tant au point de vue expansion que contraction.

Certains auteurs ayant donné des coefficients de contraction importants (de 0,5 à 0,7 %) il est aisé de calculer que la contraction du diamètre de l'éprouvette aurait été de l'ordre de 0,063 mm et par conséquent sensiblement égale à l'erreur de mesure. Il semblait donc qu'une éventuelle mais très faible modification de volume aurait été difficilement détectable avec la technique et l'instrumentation utilisée.

C'est pour cette raison que l'emploi d'un oculaire micrométrique était nécessaire afin d'obtenir une lecture au 1/100^e de mm.

De nouvelles expériences ont confirmé les précédents résultats; notamment grâce à deux gouttières creusées dans la cire d'abeille et remplies de résine DURALAY.

Les dimensions des gouttières, selon la figure VI, étaient les suivantes :

Longueur : 20 mm, largeur : 1 mm, profondeur : 2 mm.

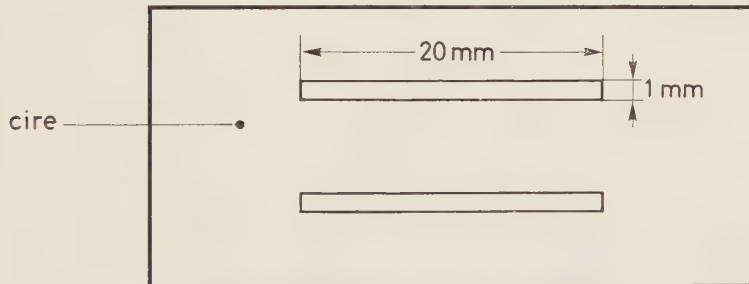


Fig. VI

Ces rainures étaient obtenues par fraisage et permettaient de connaître le comportement de la résine durant sa prise : dès que la résine liquide était placée dans la gouttière, deux fils de cuivre de 1/10^e de mm de diamètre étaient déposés aux extrémités des gouttières et l'ensemble placé sous l'objectif du microscope. L'intervalle entre les deux fils devait indiquer une contraction si les fils se rapprochaient ou une expansion s'ils s'éloignaient l'un de l'autre. La surveillance continue des fils durant le durcissement de la résine n'a indiqué aucun mouvement décelable et ce, même après la prise du matériau.

Il semble donc qu'aucune variation dimensionnelle supérieure au $1/100^{\text{e}}$ de mm, sur une distance de 20 mm environ, apparaisse durant et après la prise avec la DURALAY. La variation relative de longueur était donc au plus égale à 0,05 %.

2. EXPÉRIMENTATION AVEC UN MOULE EN DURALUMIN

a) *Méthode expérimentale :*

Une autre série d'expériences a également été faite, mais cette fois avec un moule en duralumin (voir. fig. VII). Ce moule est constitué de deux gouttières de :

Longueur : 20 mm, largeur : 2 mm, profondeur : 2 mm.

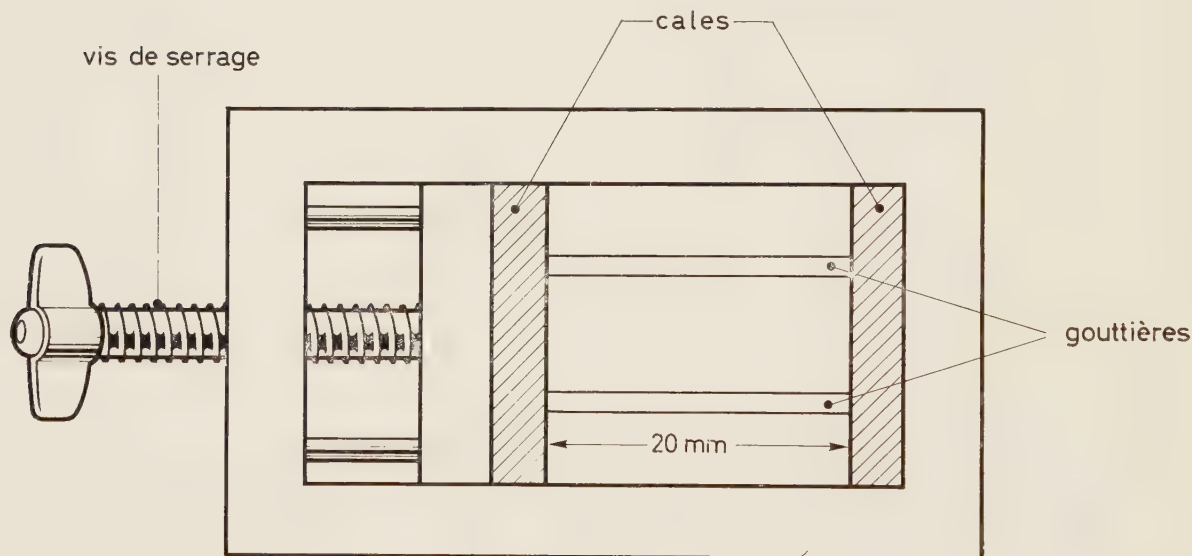


Fig. VII

A leurs extrémités deux cales permettent, grâce à une vis de serrage, de fermer les gouttières et nous donnent une dimension fixe et déterminée de la longueur de l'échantillon. Pour éviter l'adhérence de la résine aux parois du moule, nous appliquons sur les deux cales et à l'intérieur des gouttières du papier d'aluminium très mince (épaisseur $1/100^{\text{e}}$ de mm) et bien bruni sur les parois. La résine DURALAY est alors coulée dans les gouttières et la prise attendue.

N'adhérant pas au papier d'aluminium, l'échantillon est aisément sorti après durcissement et sa longueur mesurée avec un Palmer. Grâce au papier d'aluminium, les tensions d'adhésion sont réduites à zéro et à l'aide du Palmer, une mesure à $2\ \mu$ près est possible.

b) *Résultats des mesures avec le Palmer.*

Les mesures sont comme précédemment faites 15 minutes, 30 minutes, 1 heure, 24 heures et 48 heures après la sortie du moule. Les dimensions obtenues sont absolument identiques à la longueur de la gouttière à $2\ \mu$ près et les mêmes chiffres sont toujours retrouvés quel que soit l'instant de la mesure, après la prise de la résine.

3. TENSIONS INTERNES DE LA RÉSINE

Une dernière question pouvait se poser sur l'existence de tensions internes dans les pièces moulées. Afin de vérifier si ce phénomène existait, le cylindre en résine DURALAY déjà utilisé, fut placé sous le microscope après avoir marqué deux repères avec des croix, comme l'indique la figure VIII.

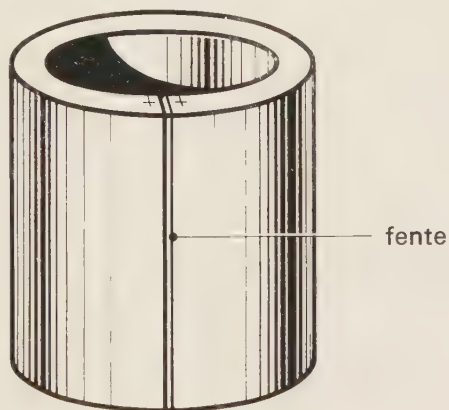


Fig. VIII

L'espace entre ces deux repères fut mesuré.

Entre ces deux croix, on scia le cylindre selon une génératrice avec une scie très mince.

Si des contraintes avaient existé le fait « d'ouvrir » le cylindre les aurait libérées et les bords de l'échantillon auraient pu, soit s'écarter, soit se rapprocher.

Mesures et résultats

Le cylindre en résine scié est examiné au microscope et la lecture au 1/100^e de mm est faite entre les deux repères en forme de croix.

Les mesures sont effectuées durant 1 heure et comparées à la distance notée avant d'avoir scié le cylindre.

Aucune différence, au 1/100^e de mm près, n'est enregistrée, ce qui semblerait indiquer que dans les conditions de l'expérience, aucune tension interne notable n'existait dans l'échantillon cylindrique de résine DURALAY testé.

4. CONCLUSIONS DE NOS EXPÉRIENCES SUR LES RÉSINES

Cette nouvelle série de contrôles ne fait que confirmer les précédentes et montre qu'à n'importe quel instant la résine DURALAY (et dans certaines expériences la résine RESINLAY) ne subit de variation dimensionnelle de valeur relative supérieure à 0,01 %, la valeur réelle étant plus faible.

Avec ces méthodes expérimentales (moule en cire ou en duralumin, cylindre de résine scié) aucune expansion mesurable n'a été trouvée contrairement à quelques mesures faites sur la largeur du parallépipède avec le micromètre comparateur. Ces chiffres se rapprochaient d'ailleurs de 0 après 24 heures (tableau III).

Par contre, les variations presque nulles de la longueur du parallépipède en résine confirment les résultats de nos dernières expériences (tableau III).

De toute façon, il est difficile de comparer les méthodes expérimentales et il est possible que dans le sens de la largeur, le poussoir ait exercé des pressions lors de l'« extraction » de la résine du moule, qui se seraient ensuite libérées, donnant des chiffres d'expansion importants.

En conclusion, on peut affirmer que, ne subissant aucune contrainte, pas même celle du Palmer, la résine DURALAY ne varie de façon notable, ni durant sa prise ni par la suite. Le mélange liquide-poudre et les proportions étant différentes à chaque expérience, ce résultat devrait nous garantir une précision importante notamment dans le cas d'empreintes directes en bouche pour inlays, inlays à tenons dentinaires et inlays-corps, par exemple.

CHAPITRE III

Les revêtements

Parallèlement aux recherches faites sur les cires et les résines, de nombreux auteurs ont étudié le comportement des revêtements en rapport avec les différentes méthodes de coulée.

Selon PIERSON (1955) [80], l'étude de la fusion et de la solidification des métaux prouve qu'en refroidissant, les métaux et les alliages fondus, sauf le bismuth, se contractent :

- 1° D'une façon continue tant qu'ils sont encore liquides;
- 2° D'une manière brusque pendant la solidification;
- 3° D'une façon continue après solidification.

Pratiquement, la contraction à l'état liquide et la contraction de solidification du liquidus au solidus sont assez facilement compensées par l'apport d'une quantité correspondante de métal ou d'alliage encore liquide. Il est recommandé pour cela d'utiliser lors de la coulée un volume de métal compris entre une fois et demie et deux fois celui du modèle et de le chasser dans le moule sous pression.

En conséquence, seule la contraction continue, causée par le refroidissement du métal solidifié agira sur les dimensions de l'objet coulé. Cette contraction se manifeste sur le volume de la pièce coulée, donc sur toutes ses dimensions. Il est impossible de la supprimer; nous ne pouvons qu'en atténuer ou neutraliser les effets grâce à l'utilisation, plus ou moins efficace, des méthodes suivantes :

- a) par augmentation des dimensions du modèle en cire (COY et VAN HORN);
- b) par correction mécanique de la surface interne des coulées;
- c) par expansion des revêtements.

Les deux premiers procédés ne donnent pas satisfaction et sont, aujourd'hui, abandonnés. Le meilleur moyen et le plus universellement utilisé est l'emploi de revêtements réfractaires susceptibles de produire l'expansion désirée. On emploie

dans ce but les revêtements compensateurs pour coulée d'alliages précieux dont la chauffe doit rester inférieure à 750°C. (D'autres revêtements utilisés pour la coulée des stellites, par exemple, sont chauffés à une température plus élevée : 1000°C à 1100°C.)

1) COMPOSITION DES REVÊTEMENTS COMPENSATEURS COURANTS.

Ces revêtements sont composés essentiellement de sulfate de calcium hemi-hydraté α ou β et d'une forme de silice.

Comme le signale NALLY (1964) [43], la proportion de ces deux composants varie dans les limites suivantes :

- silice 55 % à 75 %,
- sulfate de calcium hemi-hydraté 25 % à 45 %,
- adjuvant au maximum 5 %.

(Les adjuvants sont, en général, du chlorure de sodium, des colorants, des agents réducteurs, comme le carbone, ajoutés aux revêtements pour créer une atmosphère réductrice dans le moule au moment de la coulée.)

2) QUALITÉS DES REVÊTEMENTS.

Un revêtement doit posséder certaines qualités (PIERSON et LACROIX, 1955) [49].

a) *Qualités physiques.*

La précision des pièces coulées ne peut être obtenue que par l'emploi d'un revêtement compensateur à grains fins.

b) *Qualités chimiques.*

Les revêtements ne doivent pas attaquer le métal coulé. Avec les métaux précieux, on n'a à redouter cette action que si une pièce reste longtemps en contact avec le plâtre à température élevée. Dans ce cas l'anhydride sulfureux qui se forme rendrait nos alliages d'or cassants.

3) MÉTHODES UTILISÉES POUR OBTENIR L'EXPANSION DES REVÊTEMENTS.

a) *Méthode hygroscopique.*

Cette méthode donne d'excellents résultats. Elle permet d'obtenir une forte expansion en chauffant peu le cylindre. Néanmoins, elle paraît plus nécessaire pour la coulée de l'or pur que pour celle des alliages dentaires spéciaux.

Dans la méthode d'expansion hygroscopique mise au point par HOLLENBACK (1948) [34], on place le cylindre dans l'eau à 37°C aussitôt après la mise en revêtement et pendant 30 mn; on peut ainsi obtenir, avec un cylindre aux parois tapissées d'amiante, une expansion allant jusqu'à 2 %. KALSLOFF (1963) [37], signale que l'on a cru que cette expansion était due à la continuation de l'hydratation du SO_4Ca , explication rejetée en faveur de la théorie de RYGE et FAIRHURST (1956) qui, après études aux rayons X, établirent que les caractéristiques physiques des matériaux utilisés étaient responsables de l'expansion hygroscopique et qu'il s'agissait d'un phénomène de cristallisation. Pour permettre une expansion totale du revêtement, une nouvelle méthode est utilisée à l'Université d'Ann Arbor (Michigan, U.S.A.).

On met la cire en revêtement dans un cylindre en caoutchouc. On dose ensuite la quantité d'eau à ajouter au revêtement pour obtenir l'expansion hygroscopique désirée. Cette expansion se fait librement grâce au cylindre de caoutchouc. Lorsque la prise du matériau est terminée on retire le cylindre et l'on met le revêtement « nu » au four. On ne chauffe pas le revêtement au delà de 480°C.

b) *Méthode thermique.*

L'expansion thermique semble suffisante pour obtenir une compensation de la contraction des alliages spéciaux, et c'est cette méthode couramment employée que nous avons utilisée pour nos expériences. Avant toute expansion thermique, il existe toujours une expansion de prise du revêtement pouvant atteindre 0,3 % ou plus (MOORE, 1952) [40]. Elle est essentiellement due à la présence du plâtre et comporte deux phénomènes, l'un chimique, qui est la dihydratation d'un sulfate de calcium hemi-hydraté, selon la formule :



et l'autre physique, dû au changement de système de cristallisation du sulfate de calcium hemi-hydraté.

PIERSON et LACROIX (1955) [49], NALLY (1964) [43], montrent très bien qu'au cours du chauffage préliminaire au coulage, deux séries de phénomènes opposés se produisent simultanément :

D'une part, le plâtre subit une expansion faible jusqu'à 100°C, puis une contraction importante vers 400°C, suivie d'une nouvelle contraction à partir de 800°C.

D'autre part la silice, SiO_2 , qui forme la masse réfractaire, se dilate sous l'action de la chaleur. Elle existe au moins sous quatre formes allotropiques dans la nature :

- le quartz,
- la tridymite,
- la cristobalite,
- la silice vitreuse.

C'est sous forme de quartz, de tridymite ou de cristobalite que la silice est utilisée dans les revêtements.

4) CHOIX DU REVÊTEMENT ET MODE D'UTILISATION.

Divers revêtements possèdent les qualités requises et actuellement le choix peut se faire facilement.

Quelques-uns sont adaptés aux qualités particulières de certaines cires; ainsi les fabricants conseillent d'utiliser la cire Prépon avec le revêtement Duroterm, aux propriétés correspondantes.

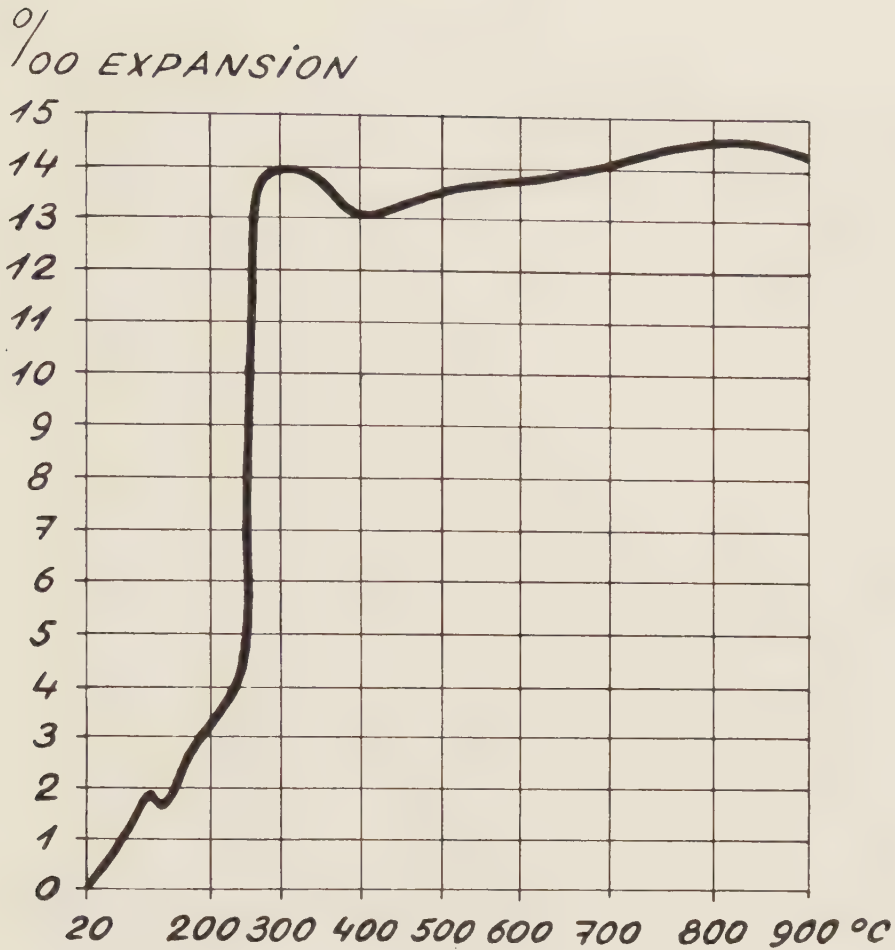
Les revêtements à la cristobalite sont parmi les meilleurs. Tirant son nom de sa découverte à San Cristobal, au Mexique, et trouvée dans les roches éruptives, la cristobalite a été formée à haute température (entre 1475° et 1700°C). L'étude de sa courbe d'expansion montre que la dilatation est très rapide entre 200° et 300°C. Entre ces deux températures, le chauffage du revêtement doit être lent pour éviter qu'il ne se fissure.

D'après les dernières recherches faites chez « Métaux Précieux » (Suisse) [28], sur 14 revêtements du commerce dont l'expansion thermique se situe en général entre 0,9 % et 1,45 %, le revêtement cristobalite de KERR atteindrait une expansion de 1,45 % à 800°C, mais dès 300°C son expansion est importante.

Pour toutes nos mises en revêtements, nous avons utilisé cette cristobalite qui donne aux environs de 700°C une expansion de 1,40 % (v. figure 10). Les derniers travaux de « Métaux Précieux » ont aussi confirmé que certaines conditions doivent être réalisées pour l'obtention d'une bonne mise en revêtement :

— Les revêtements neufs doivent être agités avant utilisation. Si l'on ne prend pas cette précaution, les particules de plus forte densité se trouvent au fond de la boîte, les plus légères en surface et le dosage des différents constituants de la poudre sera complètement faussé.

— L'eau, de préférence distillée, doit être pesée selon la quantité requise.



REVÊTEMENT = CRISTOBALITE KERR

FABRICANT = KERR-MANUFACTURING Co. (U.S.A)

MÉLANGE = POUDRE = 100P, EAU 38 P.

EXPANSION THERMIQUE = 1,45% entre 800° - 850°

(D'APRÈS DIANA Hs. - MÉTAUX PRÉCIEUX - NEUCHÂTEL)

Fig. 10.

Courbe d'expansion du revêtement Cristobaliste de KERR (« Métaux Précieux »).

— Le mélange doit être suffisamment épais. (Pour cela, il est recommandé de suivre les prescriptions du fabricant. Lorsqu'il ne donne pas d'indications, il est conseillé de faire le mélange le plus épais possible.)

— La spatulation ne doit pas excéder 4 mn.

— La vibration ne doit pas être prolongée au delà de 1 mn au maximum.

— La chauffe du four doit se faire lentement jusqu'à 300°C et ne pas dépasser 750°C, car au-dessus de cette température, comme nous l'avons relevé, on observe une décomposition du plâtre.

— Il est recommandé de faire une garniture d'amiante de 1 à 2 couches sur la surface interne du cylindre pour ne pas « brider » l'expansion du revêtement.

Divers autres facteurs importants interviennent encore dans une mise en revêtement correcte :

— la position de la cire dans le cylindre,

— la dimension des tiges de coulée et leur position.

La plupart des auteurs recommandent de les placer dans la plus grande épaisseur de la cire et de les choisir courtes et larges.

Presque toutes les méthodes de mise en revêtement se font dans les laboratoires suivant la technique manuelle, mais de plus en plus, la méthode sous vide est préconisée.

Cette technique a le gros avantage d'éviter la rugosité des surfaces de coulée. Nous l'avons utilisée systématiquement pour nos travaux et nous avons pu vérifier cette qualité.

5) DESCRIPTION DE LA TECHNIQUE DE MISE EN REVÊTEMENT SOUS VIDE PAR LA MÉTHODE D'HOLLENBACK (LE HUCHE, 1951) (voir fig. 11).

La tige de coulée portant la cire est fixée sur le cône. La base du cône en caoutchouc comporte une cavité dans laquelle pénètre la tige de coulée. Le cylindre est revêtu d'une feuille d'amiante humide.

Revêtement : Le revêtement est mélangé à l'eau dans l'exacte proportion indiquée par le fabricant.

Le mélange : Il se fait dans un modèle spécial de bol de caoutchouc sur lequel s'adapte un couvercle de métal muni d'un spatulateur. Ce couvercle métallique est percé d'un trou dans lequel s'adaptera un tube venant d'une pompe à faire le vide. Le fond du bol de caoutchouc est percé d'une ouverture. Celle-ci est obturée par un bouchon de caoutchouc. On verse dans le bol la quantité d'eau mesurée exactement au moyen d'une seringue. Puis, la quantité de poudre, préalablement pesée, est saupoudrée sur l'eau et pétrie avec une spatule. Après avoir vérifié qu'il

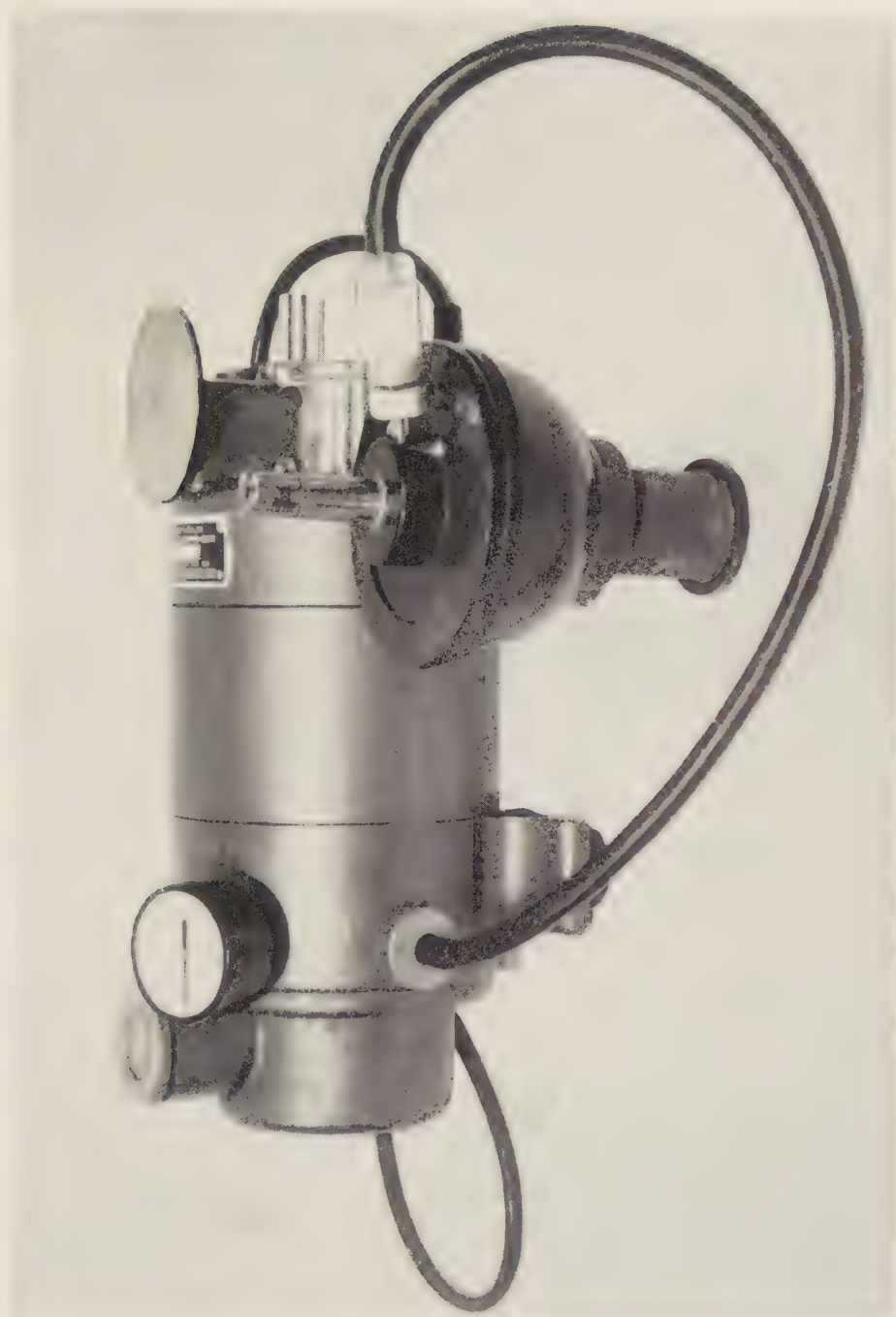


Fig. 11. Appareil à faire la mise en revêtement sous vide.

ne reste sur les bords du bol aucune trace de bouillie pouvant nuire à l'étanchéité du joint, on adapte le couvercle métallique. Le bouchon de caoutchouc qui ferme le fond du bol est alors enlevé et le cylindre portant le cône avec son bloc de cire est inséré dans cette cavité du fond du bol. Le tube relié à la pompe à vide est mis en place. L'ensemble est tenu horizontalement, le trou pour le vide en haut, pour éviter que le revêtement ne pénètre dans le tube.

« *Le Vacuum* » : La pompe à vide est alors mise en action; on s'assure que le joint est bien étanche partout. En 15 mn, le vide nécessaire est obtenu.

La spatulation : Ce vide étant maintenu, on réunit le mélangeur au moteur dans la même position horizontale et la spatulation est effectuée à un rythme lent pendant 35 sec. Grâce au vide, les bulles d'air sont éliminées.

Remplissage du cylindre : Le vide étant toujours maintenu, l'ensemble est séparé du moteur et redressé pour être tenu verticalement. La base de caoutchouc du cône est placée sur la plateforme d'un vibreur pendant 30 sec. à 45 sec., pour que le revêtement effectue sa coulée, lentement, à travers l'orifice du fond du bol dans le cylindre, en enrobant le modèle de cire. L'action du vibreur étant arrêtée, on sépare le tube qui fait le vide. Le cylindre muni du cône est séparé du bol et l'excès du revêtement rasé à l'orifice du cylindre.

Elimination de la cire (fig. 12) : HOLLENBACK utilise pour cette élimination une technique excellente. Lorsque le revêtement a terminé sa prise, on enlève la tige de coulée à travers le trou du fond du cône, en prenant bien garde de ne pas détruire l'étanchéité du joint entre le cône de caoutchouc et le cylindre.

Le bouchon de caoutchouc de l'éliminateur de cire Hollenback est alors inséré dans la cavité du cône. A l'autre extrémité de l'éliminateur, la poire est maintenue comprimée.

Cylindre, cône et éliminateur, unis ensemble, sont alors plongés dans de l'eau bouillante et la compression de la poire relâchée, de sorte qu'un vide est ainsi créé dans le tube de verre. En trois à cinq minutes, la cire fortement ramollie par la température ambiante est entraînée dans le tube avec l'eau chaude qui est aspirée à travers le revêtement, laissant la cavité propre et nette avec des parois lisses.

On n'a plus qu'à retirer cône et cylindre de l'eau et à les séparer. Le cylindre est prêt pour le pré-chauffage.

Chauffage du cylindre : Le chauffage est effectué d'abord très doucement sans dépasser 250°C pendant 15 mn. On poursuit ensuite la chauffe et, lorsque la température du four atteint 700°C, le cylindre est prêt pour la coulée.

En conclusion de ce chapitre, nous dirons que l'important travail effectué chez « Métaux Précieux » par Hs. DIANA pour le compte du Bureau de Contrôle de la S.S.O. sur le comportement de 14 revêtements, rendait inutile de nouvelles expériences sur ces matériaux.

Nous avons fait nôtre, pour la suite de nos recherches, les conclusions de ces travaux.

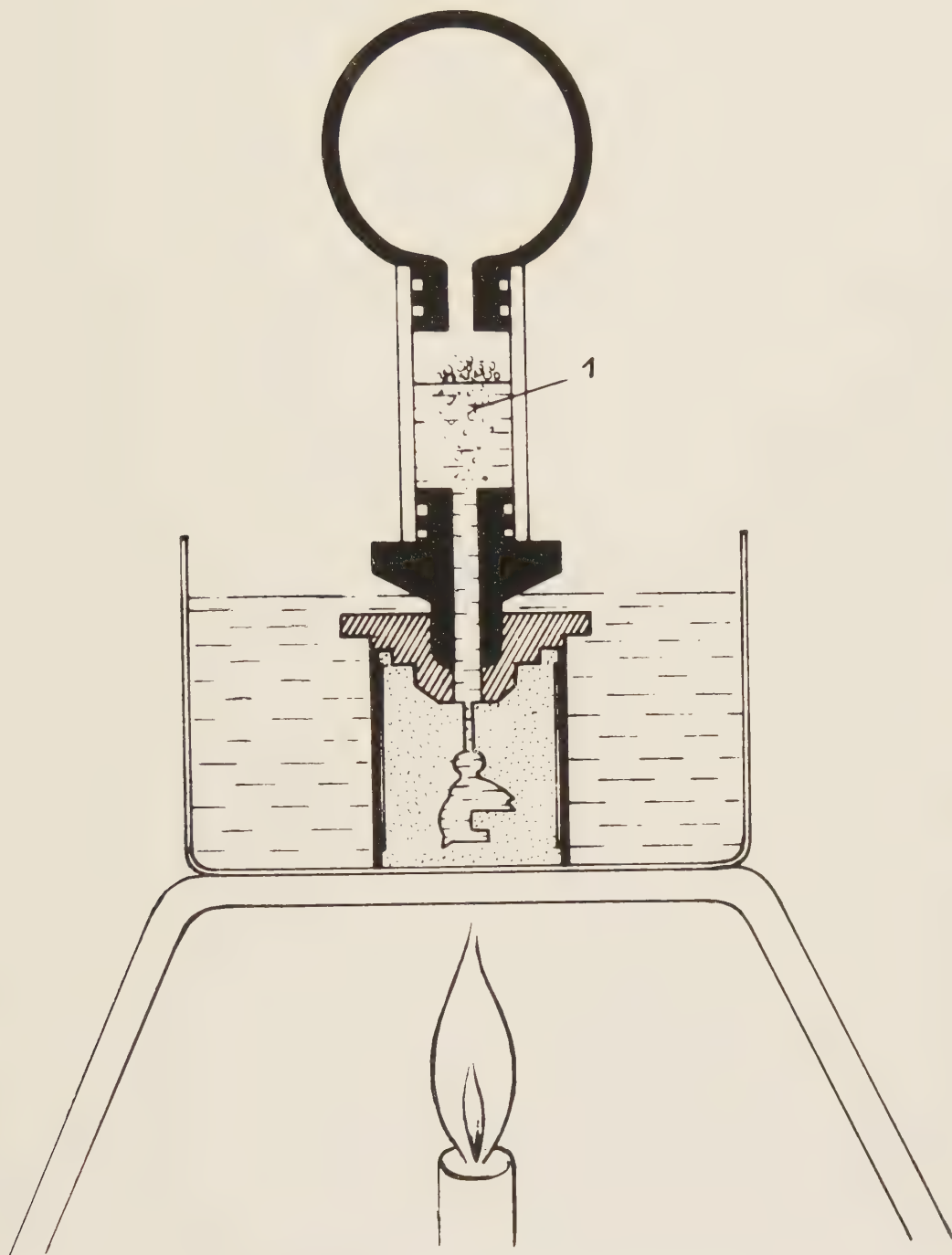


Fig. 12. Appareil utilisé pour l'aspiration de la cire.

1. Eau aspirée par le vide de la poire dans l'éliminateur; elle entraîne la cire ramollie.

CHAPITRE IV

Expériences personnelles sur les coulées

La dernière partie de nos travaux a eu pour but de vérifier la précision de nos coulées comparées au modèle de départ parallélépipédique, de 8 mm de long, 5 mm de large et 3 mm de haut.

Nos expériences consistent à mettre en revêtement des cires de contraction donnée, dans un réfractaire d'expansion connue, afin de couler l'alliage choisi.

1) MISE EN REVÊTEMENT.

Pour toutes nos mises en revêtement, c'est la cristobalite de Kerr que nous avons choisie. Pour chaque échantillon de cire, nous avons procédé de la manière suivante :

La cire, sortie du modèle, est mesurée au micromètre comparateur, sur sa longueur et sa largeur; nous en notons la contraction et la plaçons sur la tige de coulée solidaire du cône de caoutchouc. Après plusieurs essais, soit par la méthode habituelle (tige métallique avec nourrice), soit par la méthode de Gaerny (tige de cire recourbée), nous utilisons pour toutes nos mises en revêtement une grosse tige de cire de 20 mm de longueur et 2,6 mm d'épaisseur, sans nourrice; la tige de coulée est toujours placée perpendiculairement à la plus grande surface de l'échantillon de cire. Cette méthode, simple et rapide, nous donne les meilleures coulées.

Une fois la cire placée sur la tige solidarisée au cône, nous passons délicatement au pinceau fin une mince couche de Vacuum film de Kerr sur l'échantillon, ce qui facilite l'enrobage de la cire par le revêtement; nous tapissons ensuite la surface interne du cylindre d'une couche d'amiante humide.

Nous mélangeons alors dans le bol 15 cc d'eau distillée tempérée (23°C) et 40 g de revêtement cristobalite et effectuons la mise en revêtement sous vide, selon la technique indiquée précédemment. Par cette méthode nous obtenons d'excellentes coulées exemptes de « puces », contrairement à une série de coulées examinées après mise en revêtement de la cire par la méthode manuelle. Ces dernières avaient, en effet, leurs surfaces rugueuses, ce qui empêchait, d'ailleurs, toute mesure précise.

Après la mise en revêtement, nous attendons 45 mn avant d'éliminer la cire, selon la méthode déjà décrite. Nous n'avons pas à enlever la tige de coulée à travers le trou du fond du cône, puisque, pendant l'élimination, la tige de cire que nous utilisons est aspirée en même temps que l'échantillon de cire.

Cette technique nous a également donné satisfaction, la cavité obtenue étant propre et nette et sa surface très lisse.

2) CHAUFFAGE DU CYLINDRE ET COULÉE.

Le cylindre est alors mis au four et la chauffe s'effectue lentement jusqu'à 300°C avec 5 mn d'arrêt à cette température. Parallèlement au chauffage du cylindre, la chauffe de la fronde à centrifuger se fait électriquement. Nous n'avons jamais placé plus de 2 cylindres ensemble dans le four; en effet, une manipulation plus longue nous aurait obligé à laisser les derniers cylindres trop longtemps à 700°C et aurait pu, ainsi, détériorer le revêtement.

Au bout d'environ 35 mn la température du four atteint 700°C; nous procédons alors à la coulée. Nous avons utilisé pour nos coulées, soit des « plots » neufs, soit un mélange d'alliages neufs et de « culots » mais toujours avec un pourcentage de plots neufs supérieurs à 50 %.

Aucune différence n'est à noter quant aux résultats obtenus. Après la coulée, une attente de 30 mn est nécessaire pour le complet refroidissement du cylindre. La mesure de la coulée est alors effectuée après simple passage dans l'acide chlorhydrique.

Pour ces coulées, l'utilisation d'un fondant (borax) n'est pas nécessaire. En effet, comme le signale « Cendres et Métaux » (Suisse), fabricant de la fronde « Degussa 56 », utilisée pour nos expériences, la fonte a lieu dans une atmosphère réductrice, ce qui empêche une oxydation du métal. Le creuset en graphite protège le métal de l'influence de la flamme ouverte et de l'oxygène de l'air. Le graphite incandescent transforme l'oxygène de l'air en oxyde de carbone, lequel se dépose

en voile protecteur sur le métal en fusion et empêche l'entrée de certains gaz nuisibles. La fonte des alliages de métaux précieux s'effectue sans perte puisqu'il y a absence de surchauffe et d'oxydation.

3) ALLIAGES UTILISÉS.

Quatre alliages, des plus courants, provenant de « Métaux Précieux » à Neuchâtel (Suisse), sont expérimentés :

- Auropont 4,
- Aurofluid 2,
- Inlay 90,
- 20 Kt. jaune n° 49.

Leurs caractéristiques principales sont indiquées dans le tableau VIII.

4) MESURES DES COULÉES PAR RAPPORT AU TÉMOIN.

En utilisant une cire appropriée nous devons donc essayer de nous rapprocher d'une coulée de dimensions 8 mm × 5 mm × 3 mm. Partant des valeurs citées ordinairement donnant une contraction des alliages voisine de 1,4 % et connaissant l'expansion du revêtement cristobalite de Kerr, 1,4 % à 700°C (« Métaux Précieux »), nous avons pensé que nous devions utiliser la cire de contraction la plus proche de 0, c'est-à-dire la Belladi, d'après l'équation théorique, en valeur absolue :

Contraction de la cire + contraction de l'alliage = expansion du revêtement.

Quelques essais avec l'Auropont nous ont fait constater que les dimensions des coulées étaient plus grandes que celles du modèle; nous en avons déduit que la contraction de l'alliage était, selon ces expériences, inférieure à 1,4 %. Pour compenser cette différence nous avons dû utiliser une cire dont la contraction est plus importante que celle de la Belladi. C'est la cire du Dr PECK (v. tableau IX) qui, après essais, semble la plus indiquée pour les alliages Auropont 4, Aurofluid 2 et Inlay 90. Pour le 20 Kt. jaune n° 49, c'est la cire de KERR (v. tableau X) qui donne les coulées se rapprochant le plus des cotes du témoin. La détermination de la précision de la coulée se fait sur le micromètre comparateur en mesurant par rapport au témoin la longueur et la largeur de la coulée.

Les Tableaux XI, XII, XIII, XIV donnent les mesures des coulées par rapport au témoin, telles que nous les avons enregistrées.

TABLEAU VIII

CARACTÉRISTIQUES DES ORS DENTAIRE UTILISÉS

(« Métaux Précieux »)

Alliage	Couleur	Utilisation	Intervalle de fusion	Dureté Brinell		Limite élastique (kg/mm)		Ténacité (kg/mm)		Allongement en %	
				Recuit	Durci	Recuit	Durci	Recuit	Durci	Recuit	Durci
AUROPONT 4	Jaune clair	Inlays et couronnes 3/4	970° - 1000°C	85	135	—	—	—	—	—	—
AUROFLUID 2	Jaune	Travaux de ponts	915° - 950°C	115	165	27	47	47	57	45	18
INLAY 90	Jaune clair	Inlays et couronnes 3/4	880° - 920°C	90	170	30	65	—	—	—	—
20 Kt. N° 49	Jaune	Inlays	920° - 950°C	70	—	22	—	40	—	35	—

TABLEAU IX

Cire du Docteur PECK	1) Après 15 minutes		2) Après 1 heure		3) Après 24 heures	
	Longueur (L ₁)	Largeur (l ₁)	Longueur (L ₂)	Largeur (l ₂)	Longueur (L ₃)	Largeur (l ₃)
14 Cires	Contractions		Contractions		Contractions	
N° 1	— 36 μ	— 24 μ	— 44 μ	— 24 μ	— 54 μ	— 24 μ
2	— 40	— 18	— 44	— 20	— 50	— 24
3	— 38	— 24	— 44	— 26	— 54	— 30
4	— 36	— 26	— 40	— 30	— 46	— 34
5	— 38	— 20	— 40	— 22	— 50	— 26
6	— 42	— 28	— 44	— 30	— 54	— 32
7	— 48	— 30	— 50	— 30	— 62	— 34
8	— 48	— 30	— 50	— 32	— 62	— 36
9	— 34	— 18	— 34	— 18	— 48	— 22
10	— 46	— 24	— 48	— 24	— 60	— 30
11	— 40	— 20	— 40	— 22	— 54	— 26
12	— 40	— 20	— 42	— 24	— 52	— 28
13	— 34	— 18	— 34	— 20	— 46	— 22
14	— 32	— 22	— 34	— 24	— 48	— 28
Moyennes :	— 39,4 μ = L ₁	— 23 μ = l ₁	— 42 μ = L ₂	— 24,7 μ = l ₂	— 52,8 μ = L ₃	— 28,2 μ = l ₃
	Contraction L ₁	= — 0,49 %	Contraction L ₂	= — 0,52 %	Contraction L ₃	= — 0,66 %
	Contraction l ₁	= — 0,46 %	Contraction l ₂	= — 0,49 %	Contraction l ₃	= — 0,56 %

TABLEAU X

KERR bleue	1) Après 15 minutes		2) Après 1 heure		3) Après 24 heures	
	<i>Longueur</i> (L_1)	<i>Largeur</i> (l_1)	<i>Longueur</i> (L_2)	<i>Largeur</i> (l_2)	<i>Longueur</i> (L_3)	<i>Largeur</i> (l_3)
14 Cires						
N° 1	— 30 μ	— 10 μ	— 30 μ	— 10 μ	— 40 μ	— 14 μ
2	— 28	— 12	— 28	— 16	— 32	— 18
3	— 32	— 14	— 32	— 16	— 36	— 18
4	— 28	— 10	— 30	— 12	— 34	— 12
5	— 26	— 8	— 28	— 8	— 30	— 14
6	— 36	— 14	— 38	— 20	— 46	— 22
7	— 38	— 12	— 42	— 18	— 46	— 18
8	— 28	— 14	— 32	— 18	— 38	— 20
9	— 26	— 12	— 30	— 16	— 40	— 18
10	— 32	— 10	— 32	— 14	— 38	— 16
11	— 30	— 8	— 34	— 8	— 44	— 12
12	— 28	— 8	— 30	— 10	— 36	— 14
13	— 28	— 10	— 30	— 12	— 38	— 14
14	— 28	— 8	— 32	— 8	— 34	— 10
<i>Moyennes :</i>	— 29,1 μ = L_1	— 10,7 μ l_1	— 32 μ = L_2	— 13,3 μ = l_2	— 38 μ = L_3	— 15,7 μ = l_3
	Contraction L_1	= — 0,36 %	Contraction L_2	= — 0,40 %	Contraction L_3	= — 0,48 %
	Contraction l_1	= — 0,21 %	Contraction l_2	= — 0,26 %	Contraction l_3	= — 0,31 %

TABEAU XI

MESURES DES COULÉES PAR RAPPORT AU TÉMOIN				CALCUL DES CONTRACTIONS D'AUROPONT 4	
Cire utilisée : BELLADI					
Coulées n°		Sur la longueur	Sur la largeur	Sur la longueur	Sur la largeur
1		+ 24 μ	+ 18 μ	— 1,02 %	— 1,06 %
2		+ 32	+ 24	— 0,92 %	— 1,08 %
3		+ 42	+ 30	— 0,80 %	— 0,92 %
4		+ 26	+ 32	— 1,04 %	— 0,84 %
5		+ 30	+ 24	— 1,00 %	— 1,12 %
Cire utilisée : Dr. PECK'S					
1		0 μ	+ 12 μ	— 0,90 %	— 1,00 %
2		0	+ 22	— 1,00 %	— 0,80 %
3		+ 6	+ 6	— 0,90 %	— 1,04 %
4		— 12	— 12	— 1,05 %	— 1,00 %
5		+ 4	0	— 0,90 %	— 1,00 %
6		+ 10	+ 10	— 0,90 %	— 1,08 %
7		— 18	— 6	— 1,12 %	— 1,32 %
8		— 10	+ 8	— 1,07 %	— 1,00 %
9		— 22	— 4	— 1,22 %	— 1,00 %
10		— 6	+ 4	— 1,03 %	— 0,96 %
Moyennes : BELLADI				— 0,96 %	— 1,00 %
Précision moyenne des coulées : 99,62 %					
Moyennes : PECK'S				— 1,01 %	— 1,02 %
Précision moyenne des coulées : 99,94 %					

AUROFLUID 2

TABLEAU XII

MESURES DES COULÉES PAR RAPPORT AU TÉMOIN			CALCUL DES CONTRACTIONS D'AUROFLUID 2	
Cire utilisée : Dr. PECK'S				
Coulées n°	Sur la longueur	Sur la largeur	Sur la longueur	Sur la largeur
1	+ 6 μ	— 12 μ	— 0,93 %	— 1,24 %
2	0	— 4	— 0,93 %	— 0,96 %
3	+ 6	+ 8	— 0,90 %	— 1,02 %
4	— 18	+ 8	— 1,17 %	— 0,95 %
5	+ 10	+ 6	— 0,78 %	— 0,88 %
6	— 20	— 20	— 1,12 %	— 1,28 %
7	0	+ 2	— 0,98 %	— 1,08 %
8	— 18	— 10	— 1,20 %	— 1,24 %
9	0	— 8	— 1,00 %	— 1,24 %
10	+ 10	— 4	— 0,92 %	— 1,16 %
Moyennes :	— 2,4 μ	— 3,4 μ	— 0,99 %	— 1,10 %
Précision moyenne des coulées :	99,97 %	99,93 %		

TABLEAU XIII

MESURES DES COULÉES PAR RAPPORT AU TÉMOIN			CALCUL DES CONTRACTIONS D'INLAY 90	
Cire utilisée : Dr. PECK'S				
Coulées n°	Sur la longueur	Sur la largeur	Sur la longueur	Sur la largeur
1	+ 2 μ	+ 10 μ	— 0,93 %	— 1,00 %
2	— 10	+ 6	— 1,10 %	— 1,17 %
3	+ 20	0	— 0,80 %	— 1,05 %
4	+ 8	+ 2	— 0,87 %	— 1,00 %
5	+ 8	+ 6	— 0,88 %	— 0,84 %
6	— 10	+ 6	— 1,07 %	— 1,06 %
7	— 8	0	— 1,07 %	— 1,08 %
8	+ 10	0	— 0,83 %	— 1,04 %
9	+ 12	+ 4	— 0,80 %	— 0,96 %
10	0	— 6	— 0,97 %	— 1,12 %
Moyennes :	+ 3,2 μ	+ 2,8 μ	— 0,93 %	— 1,03 %
Précision moyenne des coulées :	99,96 %	99,94 %		

TABLEAU XIV

MESURES DES COULÉES PAR RAPPORT AU TÉMOIN			CALCUL DES CONTRACTIONS DU 20 Kt. N° 49	
Cire utilisée : Dr. PECK'S				
Coulées n°	Sur la longueur	Sur la largeur	Sur la longueur	Sur la largeur
1	— 4 μ	— 14 μ	— 0,98 %	— 1,33 %
2	— 6	— 6	— 1,03 %	— 1,20 %
3	— 10	— 12	— 1,08 %	— 1,28 %
4	+ 2	— 14	— 0,98 %	— 1,36 %
5	— 8	— 18	— 1,01 %	— 1,32 %
Cire utilisée : KERR				
1	+ 10 μ	— 2 μ	— 0,86 %	— 1,16 %
2	— 14	— 14	— 1,19 %	— 1,44 %
3	+ 20	0	— 0,80 %	— 1,20 %
4	+ 2	— 4	— 1,05 %	— 1,28 %
5	— 14	— 10	— 1,22 %	— 1,40 %
6	— 4	+ 8	— 1,13 %	— 1,36 %
7	+ 4	+ 2	— 1,02 %	— 1,16 %
8	0	+ 4	— 1,07 %	— 1,16 %
9	— 4	0	— 1,13 %	— 1,24 %
10	0	— 6	— 1,03 %	— 1,28 %
Moyennes : Dr. PECK'S			— 1,01 %	— 1,29 %
Précision moyenne des coulées : 99,93 %			— 1,05 %	— 1,26 %
Moyennes : KERR				
Précision moyenne des coulées : 100 %				

5) CALCUL DE LA CONTRACTION DES ALLIAGES ET DISCUSSION DES RÉSULTATS.

D'après l'équation en valeur absolue :

contraction de la cire + contraction de l'alliage = expansion du revêtement,

nous pouvons, si nous connaissons la contraction de la cire et l'expansion du revêtement, en déduire la contraction de l'alliage.

Nous avons ainsi calculé la contraction de 10 échantillons pour chacun des 4 alliages. La contraction de chaque échantillon de cire ayant été notée, nous en avons déduit, pour chaque coulée, la contraction de l'alliage sur la longueur et la largeur.

a) Si les dimensions de la coulée obtenue sont exactement égales à celles du témoin, il suffit de déduire la contraction connue de l'échantillon de cire de l'expansion du revêtement (1,4 %), pour obtenir la contraction de l'alliage.

Souvent, cependant, la coulée n'atteint pas ou dépasse le 0 du diamètre comparateur, c'est-à-dire ne correspond pas aux dimensions exactes du témoin.

b) Si les dimensions de la coulée sont inférieures à celles du témoin, cela signifie que la contraction de l'alliage est plus importante dans la proportion des valeurs mesurées.

c) Au contraire, une augmentation de ces dimensions reflète une diminution proportionnelle de la contraction de l'alliage.

Il nous suffit donc, pour obtenir la contraction de l'alliage testé, d'ajouter ou de retrancher au résultat : expansion du revêtement moins contraction de la cire, le chiffre indiqué sur le micromètre comparateur après transformation en pour cent.

Nous avons établi la moyenne de 10 échantillons de chacun des 4 alliages expérimentés :

Ainsi, pour l'*Auropont 4*, nous avons calculé une contraction de :

— 1,01 % (mesures sur la longueur)

— 1,02 % (mesures sur la largeur) (v. tableau XI)

pour l'*Aurofluid 2*

— 0,99 % (mesures sur la longueur)

— 1,10 % (mesures sur la largeur) (v. tableau XII)

pour l'*Inlay 90*

— 0,93 % (mesures sur la longueur)

— 1,03 % (mesures sur la largeur) (v. tableau XIII)

pour le 20 Kt. jaune n° 49

— 1,05 % (mesures sur la longueur)

— 1,26 % (mesures sur la largeur) (v. tableau XIV)

Nous constatons que ces valeurs sont très voisines; seul le 20 Kt, surtout dans la mesure de la largeur de la coulée, se contracte davantage. Mais dans l'équation théorique qui a servi à nos calculs, nous n'avons pas tenu compte de l'expansion de prise du revêtement, car nous manquions de données précises sur sa valeur. En effet, SKINNER et PHILLIPS [80] ne font qu'en citer les extrêmes : 0,1 % et 0,45 %. En pratique, JOHNSTON [69] comme MOORE [40] l'évalue en moyenne à 0,3 %. Si l'on ajoute cette valeur moyenne aux chiffres que nous avons trouvés pour la contraction des alliages testés, on obtient pour la contraction de ces alliages les pourcentages suivants :

Pour l'Auropont 4 :

$$1,01 \% (L) + 0,3 \% = 1,31 \%$$

$$1,02 \% (l) + 0,3 \% = 1,32 \%$$

Pour l'Aurofluid 2 :

$$0,99 \% (L) + 0,3 \% = 1,29 \%$$

$$1,10 \% (l) + 0,3 \% = 1,40 \%$$

Pour l'Inlay 90 :

$$0,93 \% (L) + 0,3 \% = 1,23 \%$$

$$1,03 \% (l) + 0,3 \% = 1,33 \%$$

Pour le 20 Kt. jaune n° 49 :

$$1,05 \% (L) + 0,3 \% = 1,35 \%$$

$$1,26 \% (l) + 0,3 \% = 1,56 \%$$

Ces chiffres toutefois ne correspondent pas parfaitement aux valeurs qui nous ont été communiquées par « Métaux Précieux » après nos expériences. D'après cette maison, ces quatre alliages présentent une contraction qui varie entre 1,4 % et 1,5 %, mais l'expérimentation a été faite chez « Métaux Précieux » de manière très différente. Ces chiffres ont été trouvés au dilatomètre avec échauffement progressif de 3°C par minute.

La mise en revêtement, l'utilisation du cylindre et en particulier la présence d'une feuille d'amiante humide tapissant l'intérieur du cylindre ont, semble-t-il, influencé nos résultats.

Il se pourrait, si la contraction des alliages est véritablement aussi élevée dans les conditions « cliniques » que celle qui nous a été indiquée par « Métaux Précieux », que la présence de l'amiante humide provoque une expansion plus forte du revêtement en associant à l'expansion de prise et à l'expansion thermique que nous avons utilisées une certaine expansion hygroscopique. Mais l'intérêt de nos travaux est que, réalisés dans ces conditions cliniques, il nous a permis de déterminer les meilleures cires à utiliser avec les quatre alliages expérimentés.

CONCLUSION

Au cours de nos expériences nous avons étudié les facteurs importants qui entrent en jeu au cours de la coulée. Nous avons essayé de démontrer que des manipulations correctes et un choix judicieux des différents matériaux permettent d'obtenir des coulées suffisamment précises pour tous les travaux prothétiques ou d'obturation.

1) EN CE QUI CONCERNE LES CIRES ET LES RÉSINES.

1° La température ambiante de la pièce dans laquelle sont exécutées les cires doit être tempérée et constante.

2° L'insertion de la cire dans le moule, par coulée puis pression, nous a donné satisfaction, tout en confirmant les recherches de LASATER; les parois des échantillons sont, en effet, plus nettes que lorsque les cires sont uniquement pressées.

3° Les contractions sont différentes selon les marques et ont varié de 0,023 % (Belladi) à 0,75 % (Security), sur la longueur de nos échantillons.

On comprend aisément que l'utilisation de diverses marques de cires conjointement avec des matériaux (revêtements et alliages) de caractéristiques connues et invariables, puisse donner des coulées de dimensions différentes.

4° Le problème de la conservation des cires est en partie résolu grâce à l'utilisation contrôlée du réfrigérateur, comme PHILLIPS, parmi plusieurs auteurs, le recommande. Nous avons constaté qu'après une mise au réfrigérateur de 18 heures, les cires ne reprennent leurs dimensions initiales qu'après 2 heures. La mise en revêtement ne devra donc être faite qu'après ce laps de temps qui est beaucoup

plus considérable que les 8 mn préconisées par PHILLIPS. Néanmoins, le meilleur moyen d'éviter les déformations de la cire reste toujours la mise en revêtement immédiatement après sa sortie du modèle.

5° La couche d'isolant doit être la plus fine possible.

6) La résine DURALAY ne subissant aucune variation dimensionnelle mesurable, avec les moyens d'investigation utilisés, semble être le matériau de choix pour les prises d'empreinte directe. Sa manipulation est aisée et son utilisation devrait nous donner d'excellents résultats.

2) EN CE QUI CONCERNE LES REVÊTEMENTS.

1) Nous avons choisi pour nos expériences la méthode thermique pour obtenir la dilatation désirée du revêtement; l'expansion thermique, compte tenu de l'expansion de prise, est suffisante pour compenser la contraction de la cire et de l'alliage dentaire.

2) Le choix du revêtement peut actuellement se faire parmi les excellents produits du commerce; cependant, nous conseillons l'utilisation d'un revêtement d'expansion connue (comme la cristobalite de Kerr : 1,40 % à 700°C, d'après « Métaux Précieux »). On peut, à ce sujet, se référer utilement à l'excellent travail de Hs. DIANA.

3) La mise en revêtement sous vide devrait de plus en plus remplacer la technique manuelle habituelle; associée à l'élimination de la cire, selon la méthode d'HOLLENBACK, elle nous a donné d'excellentes coulées. Le choix enfin d'une grosse tige de coulée en cire, sans nourrice, permet une mise en revêtement simple et rapide.

3) EN CE QUI CONCERNE LES ALLIAGES.

Les deux valeurs, contraction de la cire et expansion totale du revêtement étant connues, nous avons pu, d'après l'égalité théorique :

$$\text{contraction de la cire} + \text{contraction de l'alliage} = \text{expansion du revêtement}$$

nous rapprocher des dimensions de l'étalon et en déduire la contraction « clinique » de l'alliage utilisé.

Le choix de l'alliage doit se faire en rapport avec les valeurs connues de la contraction de la cire et de l'expansion du revêtement.

Nos travaux montrent qu'en utilisant le revêtement cristobalite de Kerr avec mise en revêtement sous vide et présence d'une feuille d'amiante humide dans le cylindre, nous pouvons obtenir des coulées se rapprochant de l'idéal, lorsque nous associons :

- l'Auropont 4, l'Aurofluid 2, l'Inlay 90 à la cire du Dr Peck,
- le 20 Kt n° 49 à la cire bleue de Kerr.

Les trois données :

contraction de la cire,

contraction de l'alliage

et expansion du revêtement

sont rarement indiquées par les fabricants. Il serait bon que nous possédions ces valeurs afin qu'en les combinant nous puissions obtenir des coulées plus précises.

Ainsi serait-il peut-être possible de supprimer les inconvénients de certaines retouches au fauteuil.

Le Président du Jury :

Pr COLLETTE.

Le Directeur de l'U.E.R. d'Odontologie :

Pr H. SOULET.

Vu et permis d'imprimer.

TOULOUSE, le 6 mars 1974.

Le Président du Conseil de l'Université Paul-Sabatier :

M. LARENG.

BIBLIOGRAPHIE

I. — CIRES ET RÉSINES

1. BOOTH (J.H.W.). — Pattern waxes for investment casting (1962). *Foundry Trade Journal*, 707-711.
2. BUGUGNANI (R.). — C.E.S. Prothèse Conjointe. Toulouse (1973).
3. FUSAYAMA (T.). — Factors and Technique of precision casting (1959). *J. pros. Dent.*, 9, 468-497. Technical procedure of precision casting (1959). *J. pros. Dent.*, 9, 1037-1048.
4. GUSTAFSSON (C.G.) and HEDEGARD (B.). — Investing and casting Technique (1955). *Acta. Odontologica Scandinava*, 12, 233-250.
5. HEDEGARD (B.) and SKINNER (E.W.). — Study of the accuracy of large dental castings (1959). *J.D. Research*, 38, 759 abstract.
6. HOLLENBACK (G.M.). — Simple technic for accurate castings; new and original method of vacuum casting (1948). *J.A.D.A.*, 36, 391-393.
7. JUGE (H.). — Résines autopolymérisantes (1954). *P.O.S.*, 698-699.
8. KASLOFF (Z.). — Recent advances in casting techniques and their evaluation (1963). *Internat. D.J.*, 13, 331-341.
9. LASATER (R.L.). — Control of wax distorsion by manipulation (1940). *J.A.D.A.*, 27, 518-524.
10. LEPERS (E.). — La chape porte-empreinte. Une technique d'empreinte de précision en Prothèse Conjointe. Réunion scientifique Société toulousaine d'Odonto-Stomatologie, 11 décembre 1971.
11. MAHLER (D.B.) and ADY (A.B.). — The influence of various factors on the effective setting expansion of casting investment (1963). *J. pros. Dent.*, 13, 365-373.
12. MOORE (Th.). — Resume of the expansions required to compensate for casting gold shrinkage (1952). *J. pros. Dent.*, 2, 550-556.
13. MUMFORD (G.M.) and PHILLIPS (R.W.). — Dimensional change in wax patterns during setting of gypsum (1958). *J.D. Research*, 37, 351-358.

14. NALLY (J.N.) (1964). — *Matériaux et Alliages dentaires*. Julien Prélat, Edit. Paris, 117-119.
15. NEIMAN (R.). — Precision casting by the investment molding process (1944). *The British Foundryman*, 77-109.
16. OHASHI (M.) and PAFFENBARGER (G.C.). — Progress report on melting, flow and thermal expansion characteristics of some dental and commercial waxes (1963). *National Bureau of Standard report*, Washington D.C.
17. PHILLIPS (R.W.). — Distorsion of wax patterns as influenced by storage time, storage temperature, and temperature of wax manipulation (1950). *J.A.D.A.*, 41, 28-37.
18. RYGE (G.). — Trouble shooting in dental casting procedures direct Technique (1963). *J. Tennessee D.A.*, 43, 323-326.
19. SAUER (W.). — Coulée des métaux (1952). *P.O.S.*, 545 bis.
20. SKINNER (E.W.) et PHILLIPS (R.W.) (1971). — *Science des Métaux dentaires*. Julien Prélat, Edit., Paris.
21. SMYD (E.S.). — Factors which influence casting accuracy. A universal casting technic (1948). *J.A.D.A.*, 36, 160.
22. SOUDER (W.H.) and PAFFENBARGER (G.C.) (1942). — Physical properties of dental materials Washington D.C. U.S. Government Printing office, 149-153.
23. STANFORD (J.W.) and all. — Second revision of A.D.A. specification n° 4 for dental inlay casting wax (1961). *J.A.D.A.*, 62, 46-53.
24. SUFFERT (L.W.) and MAHLER (D.B.). — Reproducibility of gold casting made by present day dental casting technic (1955). *J.A.D.A.*, 50, 1.
25. TAYLOR (R.) and MASON (N.). — Dimensional aspects of lost wax investment casting (1960). *Foundry Trade Journal*, 108, 696-700.
26. TEDDS (D.F.B.). — Investment casting. Recent experiences and improved techniques (1959). *The British Foundryman*, LII, 10-17.

II. — REVÊTEMENTS

27. ADY (A.B.) and MAHLER (D.B.). — Effective setting expansion of investment in casting rings (1960). *J.D. Research*, 39, 760, abstract.
28. DIANA (Hs.). — Arzneimittelausschuss der S.S.O. Dilatometer - Versuche zur Bestimmung des thermischen Verhaltens von Einbettungsmassen für den Goldguss (1946). *S.S.O.*, 74, 940-949.

29. DOCKING (A.P.) and CHONG (M.P.). — Hygroscopic expansion technique in Dental casting (1950). *Dent. J. Australia*, 22, 103-120.
30. FUSAYAMA (T.). — Factors and Technique of precision casting (1959). *J. pros. Dent.*, 9, 468-497. Technical procedure of precision casting (1959). *J. pros. Dent.*, 9, 1037-1048.
31. FUSAYAMA (T.) and all. — Influences of clinical variables on a cristoballite investment (1961). *J. pros. Dent.*, 11, 152-158.
32. GUSTAFSSON (C.G.) and HÉDEGARD (B.). — Investing and casting Technique (1955). *Acta. Odontologica Scandinava*, 12, 233-250.
33. HOLLENBACK (G.M.) and SKINNER (E.W.). — Shrinkage during casting of gold and gold alloys (1946). *J.A.D.A.*, 33, 1391.
34. HOLLENBACK (G.M.). — Simple technic for accurate castings; new and original method of vacuum casting (1948). *J.A.D.A.*, 36, 391-393.
35. HOLLENBACK (G.M.) and RHOADS (J.E.). — A method for evaluation of the expansion of casting investment under actual working conditions (1960). *J.D. Research*, 39, 761, abstract.
36. IRELAND (J.). — Vacuum investing and its relation to cast surfaces (1949). *British dental Journal*, LXXXVI, n° 5, 111-118.
37. KASLOFF (Z.). — Recent advances in casting techniques and their evaluation (1963). *Internat. D.J.*, 13, 331-341.
38. LE HUCHE (R.). — Description de la mise en revêtement sous vide par la méthode d'Hollenback (1951). *P.O.S.*, 802.
39. MAHLER (D.B.) and ADY (A.B.). — The influence of various factors on the effective setting expansion of casting investment (1963). *J. pros. Dent.*, 13, 365-373.
40. MOORE (Th.). — Resume of the expansions required to compensate for casting gold shrinkage (1952). *J. pros. Dent.*, 2, 550-556.
41. MUMFORD (G.M.) and PHILLIPS (R.W.). — Dimensional change in wax patterns during setting of gypsum (1958). *J.D. Research*, 37, 351-358.
42. MUMFORD (G.M.) and PHILLIPS (R.W.). — Measurement of thermal expansion of cristobalite type investments in the inlay ring. *Preliminary report* (1968). *J. pros. Dent.*, 8, 860-864.
43. NALLY (J.N.) (1964). — *Matériaux et alliages dentaires*. Julien Prélat, Edit. Paris, 121-128.
44. NEIMAN (R.). — Precision casting by the investment molding process (1944). *The British Foundryman*, 77-109.
45. OSBORNE (J.) and SKINNER (E.W.). — Physical properties of gypsum model investment (1959). *J.A.D.A.*, 59, 708-715.

46. PEYTON (F.A.) and ASGAR (K.). — Controlled water addition technic for hygroscopic expansion of dental casting equipment (1956). *J.A.D.A.*, 52, 155.
47. PEYTON (F.A.) (1960). — *Restorative Dental Materials*. The C.V. Mosby Company, Saint-Louis, 194, 311.
48. PHILLIPS (R.W.). — Present day precision inlay investing and casting technic (1937). *J.A.D.A. and D. Cosmos*, 24, 1470.
49. PIERSON (M.) et LACROIX (R.). — Revêtements pour coulage (1955). *P.O.S.*, 546-546 bis.
50. RYGE (G.). — Trouble shooting in dental casting procedures direct technique (1963). *J. Tennessee D.A.*, 43, 323-326.
51. SAUER (W.). — Coulée des métaux (1952). *P.O.S.*, 545 bis.
52. SHELL (J.S.). — The effect of longitudinal restrictive force on hygroscopic expansion (1961). *J.D. Research*, 40, 287-293.
53. SKINNER (E.W.) et PHILLIPS (R.W.) (1971). — *Science des Matériaux dentaires*. Julien Prélat, Edit. Paris.
54. SMYD (E.S.). — Factors which influence casting accuracy. A universal casting technic (1948). *J.A.D.A.*, 36, 160.
55. SOUDER (W.H.) and PAFFENBARGER (G.C.) (1942). — *Physical properties of dental materials*, Washington D.C. U.S. Government Printing office, 80-92.
56. SUFFERT (L.W.) and MAHLER (D.B.). — Reproducibility of fold castings made by present day dental casting technic (1955). *J.A.D.A.*, 50, 1.
57. VON WAGNER (E.). — Ueber zweckmäßige werkstoffe für Brückenarbeiten (1965). *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift.*, 20, heft 2, PW 1.

III. — COULÉE

58. BENARD (J.), MICHEL (A.), PHILIBERT (J.), TALBOT (J.). (1969). — *Métallurgie générale*, Masson Edit. Paris.
59. BENNEJEANT (C.). — Fondants (1950), *P.O.S.*, 547.
60. BENNEJEANT (C.). — Principes techniques de fonderie par l'étude des résultats défectueux (1958). *P.O.S.*, 545.
61. CRAWFORD (W.H.). — Slection and Use of investments sprues casting equipment (1940). *J.A.D.A.*, 27, 1459-1470.

62. CHRISTENSEN (G.J.) (1966). — Marginal Fit of gold inlay castings. *J. Pros. Dent.*, 16, 297-305.
63. FUSAYAMA (T.). — Casting shrinkage of gold and alloys (1959). *J.D. Research*, 38, 205, abstract.
64. GUSTAFSSON (C.G.) and HEDEGARD (B.). — Investing and Casting Technique (1955). *Acta. Odontologica Scandinava*, 12, 233-250.
65. HOLLENBACK (G.M.) and SKINNER (E.W.). — Shrinkage during casting of gold and gold alloys (1946). *J.A.D.A.*, 33, 1391.
66. HOLLENBACK (G.M.). — Simple technic for accurate castings; new and original method of vacuum casting (1948). *J.A.D.A.*, 36, 391-393.
67. HOLLENBACK (G.M.). — A report of the comparative accuracy of three methods commonly used in the production of dental castings (1962). *J. South-California*, 30, 369-374.
68. IDE (K.). — Casting shrinkage of inlay restoration (1961). *Bul. Tokyo. Med. and D. Univers.*, 8, 336, abstract.
69. JOHNSTON (J.F.), PHILLIPS (R.W.), DYKEMA (R.W.) (1963). — *Modern Practice in crown and bridge prosthodontics*. W.B. Saunders Edit., Philadelphie.
70. KASLOFF (Z.). — Casting techniques and some variables (1961). *J. pros. Dent.*, 11, 533.
71. KASLOFF (Z.). — Recent advances in casting techniques and their evaluation (1963). *Internat. D.J.*, 13, 331-341.
72. LEINFELDER (K.F.), FAIRHURST (C.W.), RYGE (G.). — Effects of mold temperature, sprue size, and dimension of wax pattern (1963). *J.A.D.A.*, 67, 817-821.
73. MOORE (Th.). — Resume of the expansion required to compensate for casting gold shrinkage (1952). *J. pros. Dent.*, 2, 550-556.
74. NALLY (J.N.). — Contribution à l'étude de la coulée de précision : la contraction en fonction de la forme de la coulée (1956). *R.M.S.O.*, 66, 348-354.
75. NALLY (J.N.) (1964). — *Matériaux et alliages dentaires*. Julien Prélat Edit., Paris, 162-174.
76. NARBONI (V.E.). — Coulée des métaux sous vide (1954), *P.O.S.*, 572-573.
77. NEIMAN (R.). — Precision casting by the investment molding process (1944). *The British Foundryman*, 77-109.
78. O. BRIEN (W.J.). — Practical application of current casting research (1960). *J. Pros. Dent.*, 10, 558-560.
79. PHILLIPS (R.W.). — Present day precision inlay investing and casting technic (1937), *J.A.D.A. and D. Cosmos*, 24, 1470.

80. PIERSON (M.). — Fonderie de précision. Variations des dimensions des pièces coulées (1955). *P.O.S.*, 544.
81. RYGE (G.). — Trouble shooting in dental casting procedures direct Technique (1963). *J. Tennessee D.A.*, 43, 323-326.
82. SAUER (W.). — Coulée des métaux (1952). *P.O.S.*, 545 *bis*.
83. SKINNER (E.W.) and PHILLIPS (R.W.) (1971). — Science des Matériaux dentaires. Julien Prélat Edit., Paris.
84. SOUDER (W.H.) and PAFFENBARGER (G.C.) (1942). — Physical properties of dental materials, Washington D.C. U.S. Government Printing Office, 37-41, 69-78.
85. SUFFERT (L.W.) and MAHLER (D.B.). — Reproducibility of gold castings made by present day dental casting technic (1955). *J.A.D.A.*, 50, 1.
86. VON WAGNER (E.). — Ueber zweckmäßige Werkstoffe für Brückenarbeiten (1965). *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift*, 20, heft 2, P W 1.

IMPRIMERIE MAURICE ESPIC
13, rue Gonzalès, Toulouse



DÉPOT LÉGAL :
PREMIER TRIMESTRE 1974

Numéro imprimeur : 273-74
